

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
I. Технологические процессы производства печатных плат	4
1. Назначение и способы изготовления печатных плат	—
2. Химический способ изготовления плат	6
3. Электрохимический способ получения печатных плат	8
4. Комбинированный способ изготовления плат	12
5. Аддитивный способ изготовления плат	19
II. Механическая обработка в процессах изготовления плат	21
6. Получение заготовок	—
7. Сверление отверстий, подлежащих металлизации	24
8. Штамповочные операции и обработка по контуру	29
III. Химическая металлизация	31
9. Теоретические основы процесса химического меднения	—
10. Активирование поверхности	32
11. Растворы химического меднения	35
IV. Получение защитного рельефа	39
12. Способы создания защитного рельефа	—
13. Жидкие фоторезисты	—
14. Сухие пленочные фоторезисты	42
15. Сеткография	45
V. Гальванические процессы	48
16. Меднение	—
17. Защитное покрытие сплавом олово—свинец (ПОС-60)	56
18. Покрытия разъемов печатных плат	60
19. Осветление и оплавление покрытия олово—свинец	62
VI. Травление меди	64
20. Растворы на основе хлорного железа и персульфата	—
21. Хлорно-медный кислый и щелочной растворы	67
Приложения	72
Список литературы	76

Рецензент Г. М. Цветков

Автоматизация производственных процессов является одной из главных задач, поставленных перед всеми отраслями промышленности XXVI съездом КПСС. В производстве изделий машиностроения, приборостроения, средств вычислительной техники и бытовой радиоэлектронной аппаратуры широко применяются печатные платы как средство, обеспечивающее автоматизацию монтажно-сборочных операций, снижение габаритных размеров аппаратуры, металлоемкости и повышение ряда конструктивных и эксплуатационных качеств изделий.

При изготовлении печатных плат в зависимости от их конструктивных особенностей и масштабов производства применяются различные варианты технологических процессов, в которых используются многочисленные химико-технологические операции и операции механической обработки.

В брошюре рассматриваются оборудование и операции механической обработки, такие как сверление, резка, абразивная очистка поверхности; описываются различные способы получения защитных рисунков схемы: фотохимическая печать, сеткография; представлены условия выполнения операции травления, с помощью которой создается проводящий рисунок в основных производственных процессах.

Особое внимание уделяется в книге технологии электрохимических процессов, применяемых при изготовлении печатных плат, так как они в первую очередь обеспечивают основные качества плат: равномерность осаждения металла, способность проводящего рисунка к пайке, необходимую эластичность слоя металлизации в отверстиях, электропроводность и другие функциональные свойства печатных плат. Для обеспечения указанных качеств металлических покрытий составы приведенных в брошюре растворов и электролитов гальванических ванн несколько отличаются от аналогичных растворов, применяемых в гальванотехнике и описанных в других выпусках библиотечки гальванотехника.

Для многих операций технологических процессов изготовления представлены краткие характеристики оборудования и средств автоматизации, рекомендованных для производства.

Перечень основных диэлектрических материалов, используемых для изготовления печатных плат, с указанием соответствующих ГОСТ или технических условий дан в приложении к брошюре, эти сведения могут оказаться полезными при выборе материалов для плат.

Для некоторых процессов приведены способы утилизации ценных материалов из отходов производства и, в частности, способы утилизации меди из отработанных травильных растворов.

В пределах небольшого объема настоящей брошюры не представилось возможным с исчерпывающей полнотой дать всю информацию, необходимую, например, при разработке производственных инструкций, однако читатель найдет ответы на многие вопросы, возникающие при внедрении новых технологических процессов.

Для облегчения этой задачи в тексте брошюры даны таблицы, характеризующие причины неполадок, возникающих в производстве печатных плат, а также приведены необходимые схемы технологических процессов. Все замечания и пожелания по данной книге просим направлять по адресу: 191065, Ленинград, ул. Дзержинского, 10, ЛО издательства «Машиностроение».

Ильин В. А.
И46 Технология изготовления печатных плат. —
Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1984. —
77 с., ил. (Б-чка гальванотехника/Под ред.
П. М. Вячеславова; Вып. 9).

30 к

В брошюре рассмотрены основные способы изготовления печатных плат различных конструкций, включающих многослойные платы. Представлены основные сведения по технологическим процессам производства печатных плат с учетом достижений передовых отечественных предприятий по изготовлению печатных плат субтрактивными и аддитивными методами.

Книга рассчитана на рабочих, лаборантов и мастеров гальванических цехов и цехов по производству печатных плат.

ББК 34.663
6П4.52

И 2704070000-174
038(01)-84 174-84

1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРОИЗВОДСТВА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

1. Назначение и способы изготовления печатных плат

Печатная плата представляет собой плоское изоляционное основание, на одной или обеих сторонах которого расположены токопроводящие полоски металла (проводники) в соответствии с электрической схемой.

Печатные платы служат для монтажа на них электрорадиоэлементов (ЭРЭ) с помощью полуавтоматических и автоматических установок с последующей одновременной пайкой всех ЭРЭ погружением в расплавленный припой или на волне жидкого припоя ПОС-60. Отверстия на плате, в которые вставляются выводы электрорадиоэлементов при монтаже, называют монтажными. Металлизированные отверстия, служащие для соединения проводников, расположенных на обеих сторонах платы, называют переходными.

Применение печатных плат позволяет облегчить настройку аппаратуры и исключить возможность ошибок при ее монтаже, так как расположение проводников и монтажных отверстий одинаково на всех платах данной схемы. Использование печатных плат, обуславливает также возможность уменьшения габаритных размеров аппаратуры, улучшения условий отвода тепла, снижения металлоемкости аппаратуры и обеспечивает другие конструктивно-технологические преимущества по сравнению с объемным монтажом.

К печатным платам предъявляется ряд требований по точности расположения проводящего рисунка, по величине сопротивления изоляции диэлектрика, механической прочности и др. (ГОСТ 23752—79). Одним из основных требований является обеспечение способности к пайке, достигаемое соответствующим выбором гальванического покрытия и технологией металлизации, поэтому в производстве печатных плат особое внимание уделяется химико-гальваническим процессам.

Изготовление печатных плат (ГОСТ 20406—75) осуществляется химическим, электрохимическим или комбинированным способом. В последнее время получили распространение новые способы изготовления — аддитивные. Ниже дана краткая характеристика каждого из способов.

Исходным материалом при химическом способе служит фольгированный диэлектрик, т. е. изоляционный материал, обычно гетинакс, на поверхность которого с одной или двух сторон наклеена медная фольга толщиной 35—50 мкм (приложение 1).

На поверхность медной фольги вначале наносится защитный рисунок (рельеф) таким образом, чтобы он защитил проводники при вытравливании меди. Защитный рисунок схемы выполняется стойкими к воздействию травильных растворов материалами. Затем следует операция травления, в результате которой полностью вытравливается медь и создается проводящий рисунок.

В зарубежной практике данный способ называют субтрактивным. Отверстия для установки выводов электрорадиоэлементов (резисторы, конденсаторы и т. д.) сверлятся или штампуются после вытравливания меди и не металлизуются. Пайка выводов электрорадиоэлементов производится непосредственно к контактным площадкам печатных проводников, как показано на рис. 1. Химический

метод применяется главным образом в производстве плат широко-вещательной радиоаппаратуры.

Электрохимический способ в зарубежной литературе и частично в отечественной практике называют полуаддитивным от латинского слова «additio» (сложение), так как проводящий рисунок создается в результате электрохимического осаждения металла, а не вытравливания. Приставка «полу» означает, что в технологии изготовления сохранена операция травления тонкого слоя металла, который образуется по всей поверхности платы при химической металлизации.

Исходными материалами в этом случае служат нефольгированные диэлектрики (приложение 2). Защитный рисунок в отличие от предыдущего метода наносят таким образом, чтобы открытыми оставались те участки поверхности, которые подлежат металлизации с целью образования проводниковых элементов схемы.

Электрохимический способ предусматривает получение металлизированных отверстий одновременно с проводниками и контактными площадками.

Комбинированный способ представляет собой сочетание первых двух способов. Исходным материалом служит фольгированный с двух сторон диэлектрик (приложение 1), поэтому проводящий рисунок получают вытравливанием меди, а металлизация отверстий осуществляется посредством химического меднения с последующим электрохимическим наращиванием слоя меди. Пайка выводов электрорадиоэлементов производится посредством заполнения припоем монтажных отверстий в плате. На рис. 2 показана структура платы, изготовленной комбинированным методом.

Комбинированный метод в настоящее время является основным в производстве двусторонних и многослойных печатных плат для аппаратуры самого разнообразного назначения.

Аддитивный метод заключается в создании проводящего рисунка посредством металлизации

достаточно толстым слоем химической меди (25—35 мкм), что позволяет исключить применение гальванических операций и операций травления. Исходным материалом при этом служит нефольгированный диэлектрик. Исключение вышеуказанных операций позволяет существенно уменьшить ширину проводников и зазоры между ними, что, в свою очередь, обеспечивает возможность увели-

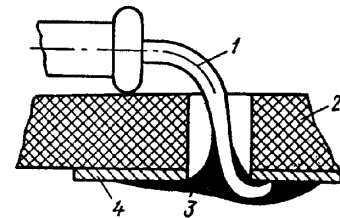


Рис. 1. Пайка выводов электрорадиоэлементов на одностороннюю печатную плату: 1 — проводочный вывод; 2 — диэлектрик; 3 — припой; 4 — контактная площадка

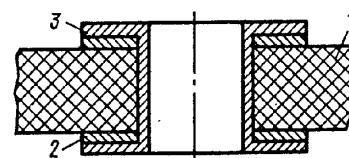


Рис. 2. Структура печатной платы, изготовленной комбинированным методом:

1 — диэлектрик; 2 — медная фольга; 3 — металлический слой

чить плотность монтажа на платах. Кроме того, как показал опыт, применение этого метода на ряде фирм США способствует снижению стоимости плат на 15—20 %, а также расходов химикатов, сокращению производственных площадей и состава оборудования. До 10 % плат, производимых в Европе и США, изготавливаются по аддитивному методу. Более широкому его распространению препятствуют патентные ограничения.

2. Химический способ изготовления плат

Последовательность основных технологических операций представлена в табл. 1.

Таблица 1. Технологические процессы изготовления печатных плат химическим методом

Номер операции	Операция	Номер операции	Операция
1	А. Негативный способ Резка и рихтовка заготовок	1	Б. Позитивный способ Резка и рихтовка заготовок
2	Зачистка поверхности	2	Зачистка поверхности
3	Получение защитного рельефа на проводниках	3	Получение защитного рельефа на пробельных участках
4	Травление меди	4	Нанесение гальванического покрытия на проводники
5	Удаление защитного рельефа	5	Удаление защитного рельефа
6	Сверление или штамповка отверстий	6	Травление меди
7	Обработка контура	7	Сверление или штамповка отверстий
8	Маркировка	8	Обработка контура
9	Нанесение защитной маски	9	Маркировка
10	Консервация	10	Консервация

Вариант А назван негативным потому, что для получения защитного рельефа методом фотопечати в качестве фотошаблона используется негативное изображение проводящего рисунка платы, т. е. пробельные места черные, а проводники — оптически прозрачные. Таким образом, проходящий через светлые участки поток ультрафиолетовых лучей при экспонировании полимеризует фоторезист, нанесенный на поверхность заготовки, образуя защитный рельеф.

В варианте Б защита проводящего рисунка при травлении осуществляется металлическим покрытием, поэтому защитный рельеф наносится на пробельные места и, следовательно, при фотопечати используется позитивное изображение платы.

Вариант А наиболее распространен в производстве плат бытовой радиоаппаратуры, он характеризуется минимальной трудоемкостью и возможностью автоматизации всех операций. В качестве метода

получения защитного рельефа при этом используется наиболее дешевой в массовом производстве способ трафаретной печати — сеткография — с применением краски, полимеризующейся с помощью ультрафиолетового облучения. Для выполнения основных операций технологического процесса создана автоматическая линия модульного типа, в которой предусмотрены следующие операции: трафаретная печать, сушка краски, травление, промывка, удаление краски и сушка готовой платы. Линия рассчитана на производство 800 тыс. плат в год, размер заготовок 500 × 500 мм.

Химико-механическая подготовка поверхности фольги может производиться также на автоматической линии ГГМ1.240.006. Защитная маска из эпоксидной смолы наносится на поверхность платы таким образом, чтобы открытыми были только контактные площадки проводников, которые обслуживаются припоем ПОС-60 при выполнении монтажных операций.

Проводники, защищенные эпоксидным покрытием, обслуживанию не подвергаются и этим достигается значительная экономия оловянного сплава. Эпоксидная защитная масса наносится также способом трафаретной печати. Пробивка отверстий обычно производится штамповкой с помощью кривошипных прессов.

По опыту одного из предприятий защита проводников от облучивания при пайке выводов радиоэлементов осуществляется посредством их химического пассивирования (хроматирования), так как хроматная пленка на меди предотвращает смачивание ее припоем.

Защита контактных площадок от пассивирования достигается путем нанесения на них через сетчатый трафарет маски состава (масс. доли %): канифоль — 100; этиловый спирт — 35; вазелин медицинский — 35.

Пассивирование производится погружением плат на 2—5 с в раствор следующего состава (г/л):

Двуххромовокислый натрий	200—250
Медный купорос	1—2
Сернокислый цинк	1—5
Серная кислота аккумуляторная	9—11
Хлористый натрий	1—2

Защитная маска на контактных площадках служит затем флюсом при пайке на волне припоя.

Главным преимуществом данного метода является исключение из технологии операции нанесения маски из эпоксидной смолы, представляющей большую профессиональную вредность.

Вариант Б применяется весьма редко и ограничивается обычно изготовлением полосковых плат. В качестве гальванического покрытия при этом служит серебро с толщиной слоя 9—12 мкм.

Платы с односторонним или двусторонним расположением проводников без металлизации отверстий могут быть изготовлены способами штамповки, переноса а также нанесения токопроводящих красок (паст).

Способ штамповки рекомендован для массового производства, при этом в качестве основания служит любой диэлектрик, в том числе и картон. Медная фольга толщиной 35 мкм, смотанная в рулон, с одной стороны покрыта адгезионным слоем. Этим слоем фольга накладывается на диэлектрик, при штамповке вырубка проводников

комбинируется с их прижимом к диэлектрику. Ненужная часть фольги удаляется.

Затем платы подвергаются нагреву в прессованном состоянии для полимеризации адгезионного слоя с целью получения прочного сцепления проводников с основанием. Метод эффективен для плат массового производства с относительно простой схемой проводников.

Операция травления не применяется, поэтому медь расходуется по прямому назначению, а отходы меди используются для переплавки. Данный способ — самый дешевый по расходу материалов и наименее трудоемкий.

Способ переноса заключается в получении проводящего рисунка на временном металлическом основании и затем переноса его на диэлектрик.

В качестве временного основания служит пластина из коррозионно-стойкой стали типа 18ХН9Т. На пластине получают защитный рисунок, как и при позитивном процессе, т. е. пробельные места закрыты фоторезистом или краской. Затем пластину подвергают гальваническому меднению в кислых электролитах и на ней образуется проводящий рисунок из меди толщиной 35—50 мкм. Фоторезист или краска удаляется, а пластина с проводящим рисунком прижимается к диэлектрику (гетинаксу), на поверхность которого нанесен клеевой слой.

Проводящий рисунок легко отделяется от поверхности коррозионно-стойкой стали и приклеивается к диэлектрику вследствие очень слабого сцепления электроосажденной меди с коррозионно-стойкой сталью. Как и в предыдущем случае, платы подвергаются нагреву в прессованном состоянии для полимеризации клеевого соединения.

Если положить металлическую пластину с медными проводниками в пресс-форму, с помощью которой прессуются пластины из различных пластмасс, например АГ-4, ДСВ и т. п., то проводящий рисунок будет впрессован в диэлектрик «заподлицо». Этот способ рекомендуется для изготовления переключателей, кодовых дисков и т. д. Преимуществом данного метода является возможность получения проводников различной толщины, что в сочетании с возможностью использования самых разнообразных материалов в качестве основания платы открывает широкие перспективы его применения.

Метод переноса целесообразен в условиях опытного и мелкосерийного производства при отсутствии очистных сооружений и условий для утилизации меди из травильных отходов. Технологический процесс представляет собой пример безотходной технологии.

Способ получения проводящего рисунка с помощью электропроводных красок или паст еще не получил широкого применения в промышленности из-за отсутствия соответствующих материалов необходимого качества, однако он является весьма перспективным и экономичным для получения плат широкополосной аппаратуры.

3. Электрохимический способ получения печатных плат

Этот способ осуществляется посредством следующих основных операций: резки заготовок, сверления отверстий, подлежащих металлизации; подготовки поверхности; химического меднения; усиления

меди гальваническим меднением; нанесения защитного рельефа на пробельные места; гальванического меднения; гальванического покрытия сплавом олово—свинец; удаления защитного рельефа; травления меди с пробельных мест.

Исходным материалом служит нефольгированный стеклотекстолит марок СТЭФ-1-2ЛК (ТУ АУЭО.037.000) или СТЭК-1,5 (ТУ 16-503.201—80). На обе стороны этих материалов нанесен адгезионный слой из эпоксино-каучуковой композиции. Свойства этих материалов приведены в приложении 2.

Подготовка поверхности диэлектрика заключается в ее химической обработке смесью хромовой и серной кислот, в результате которой на поверхности образуются микровпадины, обеспечивающие хорошую адгезию металлизированного слоя и хорошую смачиваемость водными растворами. Операция травления в данном процессе характеризуется очень малой продолжительностью (до 1 мин), так как выравливанию подлежит весьма тонкий слой химически осажденной и усиленной гальванически до толщины 5—7 мкм меди. При выравливании такого тонкого слоя меди эффект бокового подравливания практически отсутствует, что позволяет получать очень узкие проводники шириной до 0,15 мм и с таким же зазором между проводниками.

Таким образом, технологический процесс изготовления печатных плат электрохимическим (полуаддитивным) способом освобождает от необходимости применять фольгированные медью диэлектрики и обеспечивает повышенную плотность монтажа на платах, что обуславливает возможность в ряде случаев заменить сложные в производстве многослойные печатные платы на двусторонние. Ниже приведены характеристики отдельных операций и условия их выполнения.

Заготовки из стеклотекстолита режутся с учетом технологических полей на одноножевых или многоножевых ножницах. На технологическом поле сверлятся фиксирующие отверстия в соответствии с рекомендациями, изложенными в гл. 2.

Подготовка поверхности производится следующим образом. Обезжиренную поверхность диэлектрика подвергают химической обработке с целью придания гидрофильности и образования в адгезионном слое микронеровностей. Обработка ведется в две стадии: 1) набухание в водном растворе диметилформамида в течение 1—3 мин с последующей промывкой; 2) травление в растворе состава (г/л): хромовый ангидрид 450—500, серная кислота 200—240 при температуре 50—60 °С в течение 2—5 мин.

Удаление остатков хромовых соединений с поверхности заготовки производится в следующей последовательности: промывка в воде, нейтрализация в растворе NaOH (5—10 %), повторная промывка, нейтрализация в растворе HCl (50—100 г/л), еще одна промывка в воде.

В растворе травления хром из шестивалентного восстанавливается до трехвалентного, а раствор разбавляется водой, вносимой заготовками плат. По достижении концентрации Cr^{3+} до 20 г/л окислительная способность раствора значительно падает и он подлежит замене или регенерации, которая может быть осуществлена следующим образом.

В ванну завешиваются свинцовые аноды или, если ванна футерована свинцом, ее корпус подключают к положительному полюсу

источника тока. Катодами служат свинцовые пластинки, поверхность которых приблизительно в 30 раз меньше поверхности анодов. Через ванну пропускают ток от источника тока с напряжением 18 В, плотность тока на электродах $i_a = 60 \div 65$ А/дм² и $i_k = 2 \div 0,5$ А/дм². Раствор подогревается до температуры 60—65 °С. В процессе электролиза происходит окисление Cr^{3+} в Cr^{6+} , а вследствие испарения и электролиза воды возрастает концентрация H_2SO_4 . Регенерацию постоянным током завершают после того, как содержание Cr^{3+} снизится до 3—5 г/л. Удобно вести процесс на двух ваннах, в одной из которых происходит регенерация, в то время как другая — эксплуатируется.

С целью замены пожароопасного диметилформамида, а также нежелательного загрязнения сточных вод хромовой кислотой предложено операцию набухания проводить в растворе состава: мочевины 500—600 г/л и аммиак водный (25 %-ный) 300 мл/л (рН 9—10) при температуре 50 °С в течение 15 мин. И далее после промывки в горячей и холодной воде травление производить в растворе KMnO_4 с концентрацией 25—40 г/л.

Для удаления продуктов реакции промывку водой чередуют с промывкой в солянокислом растворе гидроксилamina (20 г/л) и щелочном растворе трилона Б. Поверхность адгезионного слоя после травления приобретает равномерный матовый оттенок вследствие создания микрошероховатости.

Сверление отверстий, подлежащих металлизации, осуществляют с помощью твердосплавных сверл, по технологии, указанной в гл. 2.

Операции химического меднения предшествует обезжиривание в щелочных растворах с добавками ПАВ, а затем активация в совмещенном растворе и химическое меднение в одном из растворов, приведенных в гл. 4.

Рекомендуется заготовки плат перед активацией промывать в растворе соляной кислоты (50 г/л) во избежание разбавления раствора — активатора водой.

Усиление меди гальваническим меднением лучше производить в ваннах без добавок бескислородных в любых электролитах. Толщина слоя меди при этом должна составлять 5—7 мкм.

Последующие операции технологического процесса: нанесение защитного рельефа, гальваническое меднение, гальваническое покрытие сплавом олово—свинец, удаление защитного рельефа и травление меди с пробельных мест, осуществляют в соответствии с рекомендациями, приведенными в гл. 4—6 настоящей брошюры.

Существует несколько видоизмененный процесс, названный дифференциальным травлением. В этом процессе нет операции гальванического покрытия сплавом олово—свинец, которое служит металлогезистом, а при травлении тонкого слоя меди с пробельных мест одновременно вытравливается 5—7 мкм меди с проводящего рисунка. Для того чтобы сохранить заданную техническими условиями толщину проводника, при гальваническом меднении увеличивают толщину меди на 7—10 мкм с учетом вышеуказанного травления металла.

В производственной практике встречаются другие разновидности технологического процесса, отличающиеся от приведенного выше, но в настоящее время они применяются редко, например при изготовлении полосковых плат из неизолированных диэлектриков. Характерной особенностью этих процессов является применение жид-

ких фоторезистов, которые наносятся на плату до сверления металлизированных отверстий.

Одним из вариантов электрохимического (полуаддитивного) процесса является так называемый «тентинг-процесс». В этом варианте заготовка печатной платы, в которой просверлены отверстия, металлизирована полностью химическим, а затем — гальваническим меднением с толщиной слоя 25—30 мкм. Далее с помощью сухого пленочного фоторезиста толщиной 40—60 мкм и фотошаблона-негатива получается защитный рисунок из пленки фоторезиста, перекрывающей все отверстия и защищающей их от попадания травильного раствора. Как и в обычном химическом методе, проводящий рисунок здесь образуется после травления меди. Проводники, контактные площадки и стенки отверстий облуживаются сплавом ПОС-60 горячим способом по методу «Левельер»¹ или ППВ (покрытие припоем с выглаживанием). Тентинг-процесс дает хорошие результаты при изготовлении многослойных плат с внутренними переломами из диэлектрика, обе стороны которого покрыты 5- или 35-микронной медной фольгой.

Весьма перспективно применение электрохимического способа в производстве металлических плат, обеспечивающих повышенную теплопроводность. Структура такой платы представлена на рис. 3. Основными операциями технологического процесса являются: сверление отверстий; анодирование в 20 %-ном растворе H_2SO_4 при $i_a = 1,5$ А/дм² в течение двух часов для получения оксидной пленки, повышающей электронизоляционные свойства поверхности; нанесение изоляционного слоя; химическое меднение всей поверхности с «затяжкой» гальваническим меднением.

Дальнейшие операции выполняются в последовательности, описанной выше. В качестве изоляционного слоя лучшие результаты получены нанесением четырех слоев порошковой краски ПЭП-219 с оплавлением каждого слоя при температуре 180 °С.

Подготовка поверхности перед химическим меднением осуществляется следующим образом. После обезжиривания в растворе тринатрийфосфата следует обработка в ацетоне, разбавленном водой в отношении 2:1, в течение 10 мин для повышения гидрофильности поверхности, а затем подтравливание в растворе следующего состава: хромовый ангидрид (30 г/л), серная кислота (650 мл/л) при температуре 50—60 °С с последующей промывкой и нейтрализацией.

С целью обеспечения необходимой прочности сцепления проводников с основанием предусмотрено создание микрошероховато-

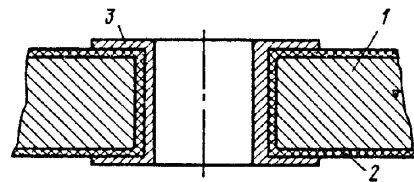


Рис. 3. Структура печатной платы на металлическом основании:

1 — металлическое основание; 2 — изоляционный слой; 3 — металлический слой

¹ От английского выражения «Level air», означающего «выравнивание воздухом».

сти поверхности посредством травления в сернохромовой смеси. Эта операция вызывает серьезные затруднения в производстве, связанные с токсичностью хромовых соединений и необходимостью принятия мер по обезвреживанию отходов. Большой интерес представляет безотходная технология подготовки поверхности с помощью, например, коронного разряда. В настоящее время ведутся экспериментальные работы в этом направлении.

Обрабатываемый диэлектрик в виде пленочного материала помещается между алюминиевой пластиной и эпоксистероклотканью, по наружной поверхности которой совершает возвратно-поступательное движение подвижный электрод из четырех цилиндров.

На подвижный электрод и алюминиевую пластину подается электрическое напряжение от высокочастотного генератора (20—40 кГц) величиной 1,4 кВ. Плотность тока, при которой возникают коронные разряды, составляет 1,5 мА/см². В результате действия коронных разрядов поверхность становится микрошероховатой.

Технологический процесс электрохимической металлизации заготовок при использовании различных пленочных материалов состоит из операций: очистки (обычная), сушки, обработки коронным разрядом активации, обработки в растворе «ускорителя», химического меднения и гальванического меднения.

Шероховатость поверхности можно создать также гидроабразивной обдувкой, направляя абразивно-водяную пульпу под давлением 0,5—0,6 МПа.

4. Комбинированный способ изготовления плат

В зависимости от метода защиты проводящего рисунка при вытравливании меди комбинированный способ может осуществляться в двух вариантах: негативном, когда защитой от вытравливания служат краска или фоторезист; и позитивном, когда защитным слоем служит металлическое покрытие (металлорезист). Названия эти способы получили от фотошаблона, применяемого при создании защитного рельефа: в первом случае при экспонировании рисунка используется негатив печатной схемы, во втором — позитив. Комбинированный метод изготовления печатных плат применяется рядом предприятий с мелкосерийным производством (табл. 2). Негативный комбинированный способ имеет следующие недостатки:

1. При сверлении отверстий на выходе сверла образуются заусенцы и создаются усилия, направленные на отрыв контактной площадки. Для сохранения контактной площадки в конструкции платы предусматривается увеличение диаметра контактной площадки (ширины пояса) на 0,6—0,8 мм. Это требование приводит к снижению плотности монтажа.

2. В результате вытравливания меди в начале процесса диэлектрик остается обнаженным для воздействия агрессивных гальванических растворов и активных флюсов (HCl) при покрытии сплавом Розе. По этой причине сопротивление изоляции готовых плат на порядок ниже, чем при позитивном процессе.

3. В связи с тем, что гальваническая металлизация осуществляется в приспособлениях, закрывающих отверстия с одной стороны, толщина слоя металла в отверстиях очень неравномерна; часто имеют место случаи отслаивания металла при перепайке деталей.

Т а б л и ц а 2. Технологические процессы изготовления печатных плат комбинированным методом

Номер операции	Операция	Номер операции	Операция
	А. Негативный способ		Б. Позитивный способ
1	Резка заготовок и химико-механическая подготовка поверхности	1	Резка заготовок и химико-механическая подготовка поверхности
2	Получение защитного рисунка с негатива	2	Получение защитного рисунка с позитива
3	Травление меди	3	Нанесение защитной лаковой пленки
4	Удаление защитного рисунка	4	Сверление и зенкование отверстий
5	Нанесение защитной лаковой пленки	5	Химическое меднение
6	Сверление и зенкование отверстий	6	Удаление лаковой пленки
7	Химическое меднение	7	Гальваническое меднение
8	Удаление лаковой пленки	8	Гальваническое покрытие сплавом олово—свинец
9	Гальваническое меднение в два приема с помощью рамочных приспособлений	9	Удаление защитного рисунка
10	Покрытие сплавом Розе	10	Травление

4. Процесс предусматривает много ручных операций.

5. Операция покрытия сплавом Розе особенно токсична из-за выделения продуктов, содержащих свинец и кадмий.

Недостатком позитивного комбинированного способа является нестойкость фоторезистов на основе поливинилового спирта при выполнении двукратной гальванической обработки, что создает большие трудности в производстве (зачистка, ретушь и т. п.).

К недостаткам обоих способов можно отнести следующие.

1. Разрыв технологического процесса из-за применения ручной операции лакировки, требующей высокой квалификации маляра.

2. Сверление через лаковую пленку ухудшает стойкость сверл.

3. Жидкие фоторезисты создают защитный рисунок толщиной не более 12 мкм, тогда как гальваническое осаждение меди и покрытия производится на толщину от 30 до 60 мкм (и более). В результате этого металл нарастает за пределы рисунка проводящего слоя и это «разрастание» приходится срезать скальпелем, что связано с большими затратами труда.

4. Удаление заусенцев после сверления осуществляется зенкованием, что увеличивает трудоемкость сверления.

Негативный способ легче осваивается из-за пониженных требований к стойкости фоторезиста и возможности травления в любых растворах (в том числе FeCl₃), позитивный — обеспечивает более высокую плотность монтажа и лучшие диэлектрические свойства плат, он позволяет также осуществлять автоматизацию отдельных операций, например гальванических.

Оба способа характеризуются значительной трудоемкостью, так как в технологических процессах имеется много ручных операций, поэтому они могут использоваться лишь в условиях опытного и мелкосерийного производства. Наиболее перспективным является позитивный способ, осуществляемый по так называемому базовому технологическому процессу, структура которого аналогична вышензложенному полуаддитивному процессу. К основным операциям процесса можно отнести резку заготовок и сверление отверстий, подлежащих металлизации; подготовительные операции; химическое меднение; утолщение слоя меди до 5—7 мкм гальваническим меднением; нанесение защитного рельефа на пробельные места; гальваническое меднение; гальваническое покрытие сплавом олово—свинец; удаление защитного рельефа; травление; обрезку по контуру, оплавление покрытия олово—свинец; маркировку, консервацию, упаковку.

Процесс обеспечивает получение зазоров между проводниками и ширину проводников до 0,2 мм.

Подготовительные операции перед химическим меднением заготовок плат с просверленными отверстиями могут осуществляться в двух вариантах: 1) механическая зачистка с целью удаления заусенцев и дефектов на поверхности фольги в сочетании с химическими операциями; 2) электролитическое полирование. Последовательность операций для обоих вариантов представлена в табл. 3, где знаками плюс и минус обозначена применяемость операций.

Таблица 3. Подготовительные операции перед химическим меднением

Операция	Номер варианта	
	1	2
Механическая зачистка фольги	+	—
Химическое обезжиривание	+	+
Промывка в горячей и холодной воде	+	+
Подтравливание	+	—
Промывка в холодной воде	+	—
Активирование	+	+
Промывка в улавливателях	+	+
Промывка в холодной воде	+	+
Электролитическое полирование	—	+
Обработка в растворе «ускоритель»	+	—
Промывка в холодной воде	+	+

Ниже даны основные характеристики отдельных подготовительных операций.

Химическое обезжиривание осуществляется в растворе следующего состава (г/г): тринатрийфосфат — 30—35, сода кальцинированная — 30—35, препарат ОС-20 — 3—5.

В том случае, когда раствор используется в установках струйной обработки, в него вводится пеногаситель, например эмульсия КЭ-10-21 (1—2 г/л). Температура раствора 40—60 °С, продолжительность обработки 2—5 мин.

Подтравливание медной фольги производится в растворе, содержащем 200—250 г/л надсернистого аммония и 5—7 г/л серной кислоты.

Промывки в холодной и горячей воде осуществляются в ваннах с проточной водой. С целью значительного снижения расхода воды рекомендуется устанавливать двухступенчатые ванны каскадного типа.

Электролитическое полирование заключается в анодной обработке заготовок, в результате которой растворяются заусенцы, образующиеся при сверлении, а на поверхности фольги создается оксидный слой, препятствующий осаждению меди на поверхности заготовки при химическом меднении. Выполнение этой операции после активирования позволяет удалить с поверхности адсорбированный слой палладия, который при этом растворяется вместе с медью, что также препятствует химическому осаждению меди на фольгу.

Электролитом служит раствор ортофосфорной кислоты (1140—1170 г/л) с добавлением 70—100 мл/л бутилового спирта (бутанол).

Раствор готовится следующим образом. К бутанолу добавляется равное количество воды, в полученную смесь медленню при постоянном перемешивании добавляется ортофосфорная кислота плотностью 1600—1700 кг/м³. По достижении плотности раствора 1540—1550 кг/м³ добавление кислоты прекращают.

Катодами в ванне служат листы из меди или коррозионно-стойкой стали, помещенные в чехлы из хлориновой ткани. Отношение поверхности катода к поверхности анода (заготовки плат) должно быть от 3:1 до 5:1.

Процесс электрополирования ведут при комнатной температуре и анодной плотности тока 2—2,5 А/дм², однако регулирование силы тока на ванне следует производить по напряжению на зажимах ванны, поддерживая его в пределах 1,5—3 В в зависимости от размеров ванны. Рабочее напряжение на ванне должно быть на 0,2—0,3 В меньше того, при котором начинается выделение на полируемой поверхности кислорода.

Продолжительность операции 15—20 мин. На катодной поверхности вначале выделяется водород, но затем, по мере накопления в электролите меди, начинается ее осаждение в виде порошка. Увеличением катодной поверхности можно добиваться получения меди в виде пленки, которая легко снимается с поверхности катода.

Уровень электролита следует поддерживать, доливая ванну водой или ортофосфорной кислотой в зависимости от плотности раствора, которая составляет 1560—1600 кг/м³. Бутанол вводится по мере ослабления блеска поверхности или появления растравленных участков полируемой поверхности.

Используя комбинированный метод, можно изготавливать платы с повышенной плотностью монтажа. В этом случае исходным материалом служит стеклотекстолит, фольгированный очень тонкой медной фольгой (толщина фольги 5 мкм). Медная фольга защищается от возможных повреждений при хранении, транспортировании и сверлении отверстий медным или алюминиевым листовым протектором толщиной 50—75 мкм. Материал с медным протектором получил название «Слофаднт», а с алюминиевым протектором — СТПА. После сверления отверстий в заготовке и операции химического меднения протектор отделяется от поверхности фольги и укладывается в отдельную тару для последующей сдачи предпрятиям цветной металлургии как вторичное сырье. Заготовка подвергается гальванической металлизации («затяжке») и другим операциям, приведенным выше.

Продолжительность операции травления уменьшается в 5 раз, так как толщина слоя меди, подлежащая вытравливанию, составляет 10—12 мкм вместо 45—50 мкм в случае применения обычных фольгированных диэлектриков. В результате этого эффект бокового подтравливания практически исключается и достигается возможность получения узких проводников шириной до 0,15 мм и таких же зазоров между ними, что характерно для плат, изготавливаемых по полуаддитивной технологии.

Технологический процесс изготовления двусторонних печатных плат комбинированным методом из материала типа «Слофадит» обеспечивает повышенную плотность монтажа (класс 3 по ГОСТ 23751—79), что позволяет во многих случаях многослойные платы в 6—8 слоев заменить на двусторонние.

Широкое применение микросборок, интегральных схем и изделий современной полупроводниковой техники привело к тому, что при монтаже их на печатные платы резко возросла коммутация между ними и появилась необходимость размещения проводников в различных изолированных друг от друга слоях многослойной платы. Многослойные соединения осуществляются через металлизированные сквозные отверстия, поэтому и метод изготовления МПП получил название «метод сквозной металлизации». Другие способы межслойного соединения применяются очень редко и поэтому не предусмотрены нормативно-технической документацией [5].

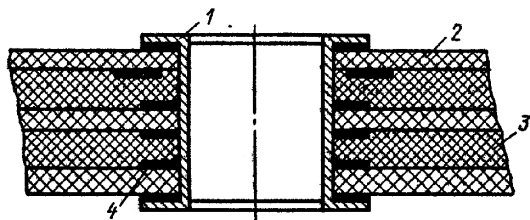


Рис. 4. Структура многослойной платы:
1 — металлический слой; 2 — тонкий диэлектрик МПП;
3 — изоляционная прокладка из стеклоткани;
4 — контактная площадка в слое МПП

Структура многослойной платы представлена на рис. 4. Технологический процесс изготовления МПП состоит из трех основных этапов: 1) подготовки отдельных слоев; 2) сборки пакета и прессования; 3) получения проводящего рисунка на наружных слоях.

На заготовках из тонких фольгированных диэлектриков, например марок СТФ-1 или СТФ-2 (приложение 3), химическим методом получают проводящий рисунок, используя жидкие или сухие пленочные фоторезисты. В качестве травителя могут быть использованы различные по типу растворы: кислые или щелочные, представленные в гл. 6 настоящей брошюры. При выборе раствора следует остановиться на том составе, который принят для основного процесса, т. е. аммиачно-хлоридного, так как нецелесообразно в производственных условиях иметь два различных состава. После вытравливания меди наблюдается нежелательная деформация сжатия диэлектрика, обусловленная внутренними напряжениями, проявляю-

щими свое действие после удаления части медной фольги. Величина этих деформаций зависит от характера проводящего рисунка и она минимальна в случае применения диэлектриков, фольгированных медью с двух сторон.

Вначале на каждом технологическом поле отдельно взятого слоя с проводящим рисунком пробиваются базовые или фиксирующие отверстия, с помощью которых при сборке достигается хорошее совмещение контактных площадок по вертикали. Количество отверстий устанавливается в зависимости от размеров платы нормативно-технической документацией и доходит до 10.

Для выполнения данной операции предназначена установка совмещения и штамповки базовых отверстий. Установка рассчитана на заготовку плат с максимальным размером 500×500 мм и минимальным — 200×200 мм. Шаг перемещения стола — 10 мм. Точность базирования ±0,05 мм. Диаметр базовых отверстий — 5 мм. Аналогичные отверстия пробиваются в листах прокладочной стеклоткани СП.

Прокладочная стеклоткань представляет собой листы стеклоткани из крученных нитей диаметром 0,1—0,25 мм, пропитанной эпиксидным лаком ЭД-8-Х. Этот материал находится в недополимеризованном состоянии и имеет следующий состав (масс. доли, %): летучие — 0,3—1,2; связующие — 45—52; растворимые смолы — 85—100. Время гелеобразования — 5—15 мин, срок хранения прокладочной стеклоткани — 6 мес. По истечении этого срока процессы полимеризации в материале, протекающие самопроизвольно, ухудшают его способность к склеиванию при прессовании многослойных плат.

Для обеспечения высокой прочности сцепления поверхности медных проводников с изолирующими межслойными материалами необходимо придать им микрошероховатость, а еще лучше создать оксидный слой соответствующей химической или струйной обработкой растворами травителей состава (г/л): CuCl_2 — 40—45, NH_4Cl — 145—150 или $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ — 200—250, H_2SO_4 — 5—7. Температура раствора — до 60 °С. Для выполнения этой операции выпускается установка в виде линии химической подготовки слоев перед прессованием. Линия модульной конструкции имеет в своем составе отдельные модули для подтравливания, промывок и сушки заготовок. Скорость конвейера регулируется и этим обеспечивается необходимая производительность и качество обработки.

При наличии больших участков меди более эффективно химическое оксидирование в растворах типа «Эбанола» следующего состава (масс. доли, %): NaClO_2 — 48; NaOH — 40; Na_3PO_4 — 12. Обработка заготовок производится в водном растворе, содержащем 180 г/л этого состава, при температуре 90 °С до образования черного оксидного покрытия. Для осуществления этой операции можно использовать линии ванн из комплекта ванн гальванической линии АГ-38, по отдельной компоновке.

Сборка пакета производится в пресс-форме путем последовательной укладки отдельных слоев МПП и прокладочной стеклоткани, количество листов которой определяется соответствующей нормативно-технической документацией, например три листа толщиной 0,025 мм для односторонних слоев. При сборке пакета необходимо обращать внимание на правильное ориентирование нитей стеклоткани. Для устранения влияния неровностей поверхности пресс-

формы, разнотолщинности прокладочных листов и т. п. на них укладываются листы триацетатной пленки, кабельной бумаги и других материалов.

Прессование происходит при постоянной температуре (160—170 °С) в две ступени: первая — при давлении 0,1—0,5 МПа, продолжительности ее — от 10 до 200 мин в зависимости от времени гелеобразования, характерного для данной партии стеклоткани; вторая — при давлении от 2 до 3,4 МПа. Давление уточняется для каждой партии стеклоткани на основе результатов анализа при входном контроле. Время выдержки 50—70 мин. После охлаждения пресс-формы и извлечения спрессованного пакета следует обрезка облоя на роликовых ножницах.

Для обеспечения хорошего качества МПП необходимо следить за состоянием помещения. Температура воздуха в помещении должна быть в пределах 23—25 °С, относительная влажность — не более 40 %. Помещение должно быть обеспылено, так как попадание пылинок при сборке вызывает образование различных дефектов в МПП.

Получение проводников, а также металлизация монтажных и переходных отверстий производится в основном по вышеприведенной технологии комбинированного метода с дополнительной химико-механической обработкой стенок отверстия для обеспечения прочного сцепления слоя металлизации с торцами контактных площадок в отдельных слоях.

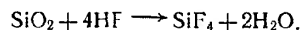
В результате химико-механической обработки создается ступенчатый рельеф на стенках отверстий, который показан на рис. 5. Кроме того, при этом медные торцы контактных площадок хорошо очищаются от эпоксидной смолы, наволакиваемой на них в процессе сверления, а обнаженные нити стеклоткани становятся слегка шероховатыми.

Химико-механическая обработка отверстий включает в себя операции, которые проводятся в следующей последовательности:

1. Гидроабразивная обдувка. Абразивно-водяная пульпа, содержащая электрокорунд зернистостью М40 в отношении с водой 1:4 по массе, прогоняется через каждое отверстие под давлением 0,4—0,5 МПа в специально созданной для этой цели установке.

2. Травление диэлектрика. Обработка в концентрированной серной кислоте при температуре 35—40 °С в течение 0,5—0,7 мин, при этом глубина травления получается в пределах 15—20 мкм.

На некоторых предприятиях применяют более агрессивный раствор в виде смеси серной и плавиковой кислот, взятых в отношении 5 : 1. Серная кислота растворяет эпоксидную смолу, а плавиковая — стекло с образованием газообразных продуктов по реакции



3. Двукратная промывка в проточной воде с интенсивным покачиванием плат.

4. Сушка теплым воздухом.

5. Гидроабразивная обдувка вторичная.

6. Промывка в проточной воде.

7. Промывка с наложением ультразвуковых колебаний.

Применяя базовую технологию производства МПП, можно получить гибко-жесткую конструкцию плат. В этом случае гибкий общий для двух плат слой изготавливается методом травления фольгированного полиимида (приложение 4).

Сборка пакета и прессование всех элементов конструкции производятся одновременно.

С помощью металлизированных отверстий достигаются межслойные соединения в том числе и соединения с проводниками гибкого слоя.

5. Аддитивный способ изготовления плат

Этот способ предусматривает получение проводящего рисунка из меди толщиной 25—30 мкм, осажденной химическим способом (толстослойное химическое меднение). При этом слой меди должен иметь плотность 8800—8900 кг/м³, чистоту 99,8—99,9 %, электрическое сопротивление не более 0,0188 Ом·мм и эластичность, характеризующуюся величиной относительного удлинения $\epsilon = 4 \div 6 \%$. Прочность сцепления меди с диэлектриком должна соответствовать ОТУ и составлять не менее 0,4 Н/3 мм.

Основные преимущества аддитивного метода следующие: уменьшение количества операций и соответственно производственных площадей и оборудования; равномерность слоя осажденной меди при соотношении толщины платы к диаметру отверстий 10 : 1; высокая плотность монтажа, допускающая возможность создания зазоров между проводниками и ширину их до 0,1 мм; снижение расхода материалов вследствие отсутствия травления; возможность использования для химической металлизации солей меди из травильных отходов; возможность полного исправления дефектных плат после травливания меди и повторной металлизации.

Технологические процессы изготовления печатных плат определяются типом исходного материала и могут быть представлены в трех вариантах:

1) из диэлектрика с введением в его состав катализатором процесса химического меднения; 2) на материале СТЭФ-1 с покрытием каталитической эмалью; 3) из диэлектрика для полуаддитивной технологии.

1. Исходным материалом для плат служит диэлектрик марки СТАМ по ТУ ОЯШ.503.041—78. Основными операциями технологического процесса являются резка заготовок; сверление отверстий; получение защитного рельефа; подготовка поверхности; химическое меднение, предварительное и толстослойное.

Операции механической обработки выполняются в соответствии с рекомендациями, данными в гл. 2.

Получение защитного рельефа осуществляется с помощью сухого пленочного фоторезиста СПФ-2.

С целью повышения устойчивости рисунка к длительной обработке в щелочных растворах химического меднения плата подвергается термообработке в воздушной среде при температуре $95 \pm 5^\circ\text{C}$ в течение 30 мин. Подготовка поверхности заключается в травлении

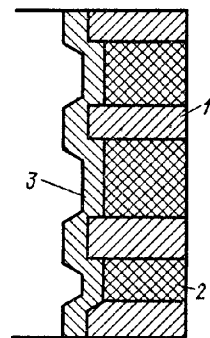


Рис. 5. Ступенчатый рельеф отверстия в МПП:

1 — контактная площадка в слое МПП; 2 — изоляционная прокладка; 3 — металлический слой

в сернохромовой смеси с последующими промывками и нейтрализацией до остатков CrO_4^{2-} . Активирование поверхности производится в совмещенном растворе с последующей обработкой в растворе NaOH (20 г/л).

Предварительное химическое меднение производится в тартратном растворе (табл. 8) в течение 15—20 мин. Перед толстослойным меднением следует термообработка тонкого слоя химически осажденной меди при 100 °С в течение 1—2 ч. Толстослойное химическое меднение проводится в трилонатном или тартратном растворе.

2. Исходным материалом для плат служит нефольгированный стеклотекстолит СТЭФ-1. Сверленные заготовки из этого материала покрывают из краскораспылителя эпоксидной эмалью с наполнителем, в качестве пигмента служит двуокись титана TiO_2 , к которой добавлено 0,04 % солей палладия. Эмаль ЭП-5215 поставляется по ТУ 6-10-11-19-30—79 (титан IV, окись в рутинной форме, активированная палладием по ТУ 6-09-05—1025—79).

Основные операции технологического процесса следующие: резка заготовок; сверление отверстий; нанесение эмали ЭП-5215 на поверхность и в отверстия; травление; получение защитного рисунка; химическое меднение (предварительное и толстослойное).

Травление слоя эмали осуществляют в растворе, содержащем 130 г/л хромовой ангидрида и 650 г/л серной кислоты. Температура раствора 70 °С, продолжительность — 10 мин, плотность загрузки — 0,9—1,0 $\text{дм}^2/\text{л}$.

Предварительное химическое меднение производится в стандартном растворе, минуя активирование, так как катализатор процесса химического меднения находится в слое эмали. Толстослойное химическое меднение и получение защитного рельефа выполняется аналогично предыдущему варианту.

3. Исходным материалом служит диэлектрик СТЭК или СТЭФ-1-2ЛК (см. приложение 2).

Основными операциями технологического процесса при этом являются резка заготовок; сверление отверстий; подготовка поверхности; активирование; получение защитного рельефа; химическое меднение предварительное и толстослойное.

Существенной особенностью данного технологического процесса является отделение операции активирования от химического меднения, в результате чего химическое восстановление меди происходит на участках, свободных от защитного рисунка, т. е. в отверстиях и на проводниках.

Подготовка поверхности происходит так же, как и в полуматричной технологии: заготовки подвергаются обезжириванию, набуханию адгезионного слоя и травлению в смеси $\text{CrO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$.

Активирование производится в совмещенном растворе, причем ему предшествует погружение в раствор, содержащий 75—80 г/л NaOH . После промывки в улавливателе следует сушка путем легкого обдувания воздухом. Химическое меднение производится в растворах, как и в предыдущих вариантах.

Одним из вариантов аддитивного метода является процесс под названием «фотоформ», или фотоселективная металлизация. Технологический процесс изготовления печатных плат, разработанный для условий лабораторного или опытного производства, состоит из следующих операций: сверления отверстий в заготовках из материала типа СТЭК или СТЭФ-1-2ЛК; подготовки поверхности ди-

электрика (обезжиривание, травление); нанесения фотоактиватора (фотопромотора) и его подсушки экспонированием проводящего рисунка на плату; проявления рисунка в ванне химического меднения; удаления фотоактиватора с незасвеченных мест; толстослойного химического меднения; отмывки плат от остатков электролитов.

Ключевой операцией процесса является нанесение фотоактиваторов на плату. Фотоактиватором при этом служат весьма сложные по составу растворы, в которых содержатся соединения меди или железа. Составы фотоактиваторов еще недостаточно отработаны для производственных условий, однако некоторые из них рекомендованы в литературных источниках и представляют весьма сложные смеси органических веществ, например следующий состав раствора фотоактиватора: уксусная кислота — 15 г; антрахинонсульфоуксусная кислота — 3 г; вода — 450 мл; глицерин — 30 мл; лимонная кислота — 30 г; хлорное масло — 1 г; поверхностно-активное вещество — 0,25 мл.

Под действием ультрафиолетового света, проходящего через фотошаблон (операция 4), фотоактиватор разлагается и на экспонированных участках образуется едва заметный для глаза проводящий рисунок из продуктов распада фотоактиватора, служащих катализаторами процесса восстановления меди при химическом меднении.

Таким образом, при выполнении операции 5 происходит образование проводящего рисунка из тонкого слоя химически восстановленной меди. Увеличение слоя меди до толщины 25 мкм происходит в ванне толстослойного химического меднения.

Для обеспечения пайки электрорадиоэлементов платы необходимо подвергнуть покрытие сплавом ПОС-60 горячим способом. Обычно принятая техника лужения в данном случае непригодна, так как слой припоя достигает значительной толщины, что может вызвать образование «мостиков» между проводниками. Покрытие необходимо производить по методике, предусматривающей после погружения плат в расплавленный припой обдувку их горячим воздухом с целью выглаживания слоя припоя и удаления его излишков.

В установках для выполнения этой операции платы, подвергнутые флюсованию, проходят зону подогрева с целью удаления влаги и смягчения термоудара, вызывающих коробление при погружении в расплавленный припой, время выдержки плат в расплавленном припое не должно превышать 4 с. Основная часть установки — воздушные ножи — предназначена для равномерной подачи горячего воздуха по всей длине плат.

Толщина слоя припоя на платах в среднем составляет около 8 мкм.

II. МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА В ПРОЦЕССАХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЛАТ

6. Получение заготовок

Резка заготовок. Печатные платы выпускаются самых различных размеров и конфигураций, изготовление их поштучно влечет за собой большой расход материалов и значительное увеличение трудоемкости производства, поэтому наиболее рационально группировать

платы на одну заготовку таким образом, чтобы получить возможность одновременно обработать максимальное количество плат.

Размер заготовок из диэлектрического материала определяют исходя из размеров транспортеров, ванн химической и гальванической обработки, ширины рулонов сухого пленочного фоторезиста, рабочего поля сверлильных станков, сеткографических трафаретов и других габаритных ограничений, обусловленных типом применяемого оборудования, а также с учетом наиболее рационального раскроя диэлектрических и вспомогательных материалов.

При определении размеров заготовок учитывают необходимость наличия технологического поля со всех четырех сторон шириной не более 10 мм (ГОСТ 23662—79) при изготовлении двусторонних и односторонних плат и 30 мм — при изготовлении многослойных печатных плат. Для групповых заготовок ширина технологического поля по периметру принимается 30 мм, а ширина технологического поля между платами не должна превышать 10 мм.

Наиболее употребителен размер заготовок 530×530 мм. Максимальный размер единичной платы 500×500 мм. Получение заготовок выполняется в два приема. Вначале листы диэлектрика режутся на полосы, а затем полосы режутся на заготовки. В условиях крупносерийного и массового производства заготовки получают вырубкой в штампах на кривошипных прессах.

Разрезка диэлектрических материалов для плат, а также вспомогательных материалов, таких как прокладочная стеклоткань, картон, триацетатная пленка и др., производится с помощью роликовых или гильотинных ножиц.

Предельные отклонения размеров составляют $\pm 1,5$ мм для заготовок, толщина которых более 0,2 мм, для заготовок толщиной менее 0,2 мм $\pm 2,0$ мм.

Роликовые или гильотинные ножицы должны обеспечивать возможность разрезки материалов толщиной до 3 мм с точностью $\pm 0,2$ мм.

Зазор между режущими кромками ножей должен быть в пределах 0,02—0,03 мм; при большем зазоре образуются трещины, сколы, происходит расслоение материала. Скорость резания 2—10 м/мин. Учитывая, что резанию подвергаются стеклотекстолиты, т. е. материалы, армированные стеклотканью, режущие кромки ножей гильотины или ролики роликовых ножиц должны быть изготовлены из твердых сплавов.

Для получения заготовок можно использовать следующее оборудование: гильотинные ножицы ОА-805; кривошипные ножицы с наклонным ножом (ТУ 2-041-1033—79); ножицы роликовые одноножевые и многоножевые производительностью 360 и 720 заготовок в час. Гильотинные и кривошипные ножицы позволяют резать материал толщиной до 3 мм при максимальной ширине разрезаемого листа 1600 мм. Длина отрезаемого листа по заднему упору 600 мм.

Максимальный размер заготовок 500×500 мм — для одноножевых и в пределах ширины листа — для многоножевых. Основные технические характеристики роликовых ножиц следующие: толщина разрезаемого материала до 3 мм; скорость резания материала 2—10 м/мин; осевой зазор между роликами 0,02—0,05 мм.

В условиях опытного производства можно производить резку заготовок на станках собственного изготовления, в которых режу-

щим инструментом служат абразивные или алмазные круги, имеющие линейную скорость при вращении 40—50 м/с при подаче материала со скоростью 0,4—0,6 м/мин.

Как указывалось выше, в условиях крупносерийного производства заготовки плат из полос материала целесообразно получать штамповкой с помощью кривошипных прессов К 2324 или К 2328. Рекомендуется также пресс КД (ТУ 2-041-684—80). Вырубные штампы следует изготавливать из легированных сталей марок Х12М или Х12Ф.

Заготовки из тонких диэлектриков толщиной до 0,25 мм рекомендуется подвергать термостабилизации с целью завершения процессов полимеризации смолы. Для этого заготовки помещают в открытую тару и подвергают трем циклам нагрева и охлаждения. Режим одного цикла: до 150 °С в течение 40 мин, выдержка при этой температуре 20 мин, охлаждение до 30 °С в течение 40 мин.

Заготовки диэлектрика для одно- и двусторонних печатных плат подвергают рихтовке, если их деформация составляет более 1 мм на 100 мм длины. Рихтовка заготовок осуществляется посредством их продвижения между вращающимися стальными валками, зазор между которыми регулируется прижимным устройством.

Получение фиксирующих и технологических отверстий в заготовках. Для точного расположения заготовок печатных плат или отдельных слоев многослойных печатных плат в процессах сверления и совмещения с фотошаблонами на технологическом поле создаются фиксирующие (базовые) отверстия, которые имеют различные диаметры и располагаются асимметрично.

Технологические отверстия (ГОСТ 23662—79), предназначенные для предотвращения смещения заготовок слоев в многослойных платах в процессе прессования (склеивания), размещаются на технологическом поле. Их количество зависит от площади поверхности слоев МПП (табл. 4).

Таблица 4. Минимальное количество технологических отверстий

Толщина отдельных слоев диэлектрика в МПП, мм	Площадь поверхности слоя МПП, дм^2			
	<3	3—6	6—10	>10
$\leq 0,25$	2	4	8	10
$> 0,25$	—	2	4	8

Фиксирующие и технологические отверстия получают сверлением, а при крупносерийном производстве — штамповкой. Процесс сверления предполагает весьма высокие требования к точности расположения отверстий, так как от этого зависит совпадение контактных площадок и других элементов проводящего рисунка в платах всех типов. В связи с этим предельные отклонения расстояний между центрами просверленных отверстий должны быть следующими: $\pm 0,05$ мм при расстоянии до 180 мм, $\pm 0,08$ мм при расстоянии от 180 до 360 мм и $\pm 0,1$ мм при расстоянии свыше 360 мм.

В многослойных платах предельные отклонения не должны превышать $\pm 0,03$ мм. Эти требования могут быть соблюдены, если в сверлильных станках биение сверла не превышает 0,02 мм, а отклонение от перпендикулярности оси шпинделя к базовой поверхности стола составляет не более 0,01 мм. Сверление производят на координатно-расточном или настольных сверлильных станках типов С-106, С-155 или 2М 103П.

В первом случае используют твердосплавные сверла по ГОСТ 17274—71 и ГОСТ 17275—71, а заготовки плат укладывают пакетом толщиной до 4,5 мм, подкладывая под нижнюю заготовку лист гетинакса толщиной 0,8—1,5 мм. При сверлении тонких диэлектриков (менее 0,5 мм), триацетатной пленки, прокладочной стеклоткани и других материалов гетинаксовая прокладка устанавливается с обеих сторон.

При сверлении на настольных сверлильных станках применяют твердосплавные сверла по ГОСТ 4010—77. Частота вращения шпинделя 1000—1900 об/мин. Сверление производят через кондуктор, также укладывая заготовки плат пакетом до 4,5 мм. После сверления отверстия обрабатывают развертками по ГОСТ 16086—70 или ГОСТ 1672—71.

7. Сверление отверстий, подлежащих металлизации

Сверление отверстий, подлежащих металлизации, является одной из важных операций в производстве печатных плат, так как от ее выполнения зависит качество металлизации и точность совмещения проводящих рисунков схемы.

Сверлением создается микрошероховатость поверхности, которая обуславливает хорошие условия для адсорбирования каталитических частиц палладия и соответственно последующее качественное меднение. Диаметр сверла, с помощью которого производится сверление, должен выбираться с учетом толщины слоя металлизации и допуска на сверление.

Расчет номинального диаметра сверла производится по формуле

$$D_{\text{св}} = D_n + 0,8(\Delta_1 + \Delta_2) + 2\delta,$$

где $D_{\text{св}}$ — номинальный диаметр сверла; D_n — номинальный диаметр металлизированного отверстия; Δ_1 — предельные отклонения диаметра, зависящие от станка и составляющие не более 0,1 мм для отверстий диаметром до 0,8 мм и 0,12 мм для отверстий диаметром от 0,8 до 3,0 мм, Δ_2 — отклонения, обусловленные деформацией материала, возникающие после выхода сверла вследствие усилий сжатия, $\Delta_2 = 0,03 \div 0,05$ мм; δ — толщина металлического покрытия, $\delta = 25$ мкм.

При выборе сверла необходимо учитывать, что по ГОСТу 22093—77 диаметры сверл различаются между собой на величину, кратную 0,1, т. е. образуют ряд 0,9; 0,8; 0,7 и т. д., поэтому полученные по вышеприведенной формуле результаты следует округлять до десятых долей миллиметра. В некоторых отраслевых стандартах рекомендуется диаметр сверла увеличивать на 0,10—0,15 мм по отношению к диаметру металлизированного отверстия.

Предельные отклонения центров отверстий относительно узлов координатной сетки не должны превышать $\pm 0,2$ мм, для многослойных печатных плат эта величина принята $\pm 0,1$ мм.

В соответствии с ГОСТ 23664—79 шероховатость стенок отверстий не должна превышать 40 мкм. Заполировка, поджог и засаливание поверхности не допускаются.

Сверление необходимо производить цилиндрическими спиральными сверлами, изготовленными из твердого сплава марки ВК8 или ВК6М. Твердый сплав состоит из смеси карбидов вольфрама (90—94 %) и карбидов кобальта (5 %).

Для скоростного сверления рекомендуются укороченные сверла по ГОСТ 20686—75. Сверла из углеродистой или легированных сталей совершенно непригодны, так как затупляются после сверления нескольких отверстий.

Геометрия сверла оказывает большое влияние на качество сверления и на стойкость сверла. Выпускаемые промышленностью сверла (рис. 6) имеют следующие основные параметры (... °): главный задний угол — 15—17; вспомогательный задний угол — 30—32; угол при вершине — 100—125.

Увеличенный против нормы угол при вершине влечет за собой увеличение осевого отклонения сверла вследствие «скольжения»; при очень малом угле имеет место осевое отклонение внутри материала.

Спиральные канавки должны быть хорошо отшлифованы для облегчения выхода стружки из зоны сверления.

Режим сверления

Частота вращения, тыс. об/мин.	10—90
Скорость резания, м/мин.	70—150
Скорость резания для МПП, м/мин	40—70
Подача, мм/об.	0,02—0,07
Подача при сверлении МПП, мм/об.	0,02—0,05

При малых подачах происходит разрыхление стеклянных нитей, при больших — оплавление и расслоение материала. Отклонение от режимов сверления и затупление режущих кромок обуславливают ряд дефектов, приведенных в табл. 5.

Переточка сверл обычно производится после сверления 1000—1500 отверстий, в отдельных случаях эта операция производится после сверления 3000 отверстий. После трехкратной переточки сверла заменяются новыми, а старые можно использовать для сверления менее ответственной продукции.

В производстве многослойных плат встречается такой дефект как чрезмерное навозалкивание смолы на торцы контактных площадок [4]. Это происходит в результате разогрева зоны сверления до температуры выше 250 °С. Смола сильно размягчается, и происходит ее карбонизация, вследствие чего она становится устойчивой к воздействию серной кислоты и не растворяется при выполнении операции травления диэлектрика. Разогрев происходит из-за больших затрат

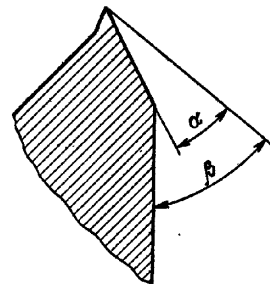


Рис. 6. Спиральное сверло в сечении: α — главный задний угол; β — вспомогательный задний угол

Таблица 5. Основные дефекты сверления

Вид дефекта	Причины
Большие заусенцы фольги на выходе сверла (более 40 мкм)	Затупленное сверло Недостаточный прижим заготовки Увеличенная подача сверла Искаженная геометрия сверла
Большие заусенцы фольги на входе сверла	Раднальное и осевое биение сверла более 0,02 мм Увеличенная подача сверла
Отслоение фольги от диэлектрика	Отсутствие подкладки под заготовку при сверлении Недостаточный прижим заготовки Затупленное сверло
Заполировка и засаливание поверхности	Увеличенная скорость сверления при малой подаче сверла
Ореолы (посветления) диэлектрика	Искаженная геометрия сверла Неправильно заточенное сверло Недостаточный прижим заготовки Увеличенная подача сверла
«Гвоздевой эффект» (шляпка гвоздя) на стенках отверстий в МПП	Несоответствие скорости вращения подаче сверла
Поломка сверла	Завышенная глубина сверления Вибрация сверла Отсутствие отсоса стружки Несоответствие геометрии сверла требованиям стандарта

нений по выходу стружки вдоль канавок сверла. Темно-коричневый цвет стружки — признак чрезмерного разогрева сверла. Обнаружить подобное наволакивание можно смачивая торцы 10 %-ным раствором полисульфида натрия. Почернение меди свидетельствует об отсутствии наволакивания.

Глубокие и чистые канавки сверла в сочетании с острыми режущими кромками — необходимое условие качественного сверления МПП.

Сверление заготовок необходимо производить с подкладкой из гетинакса толщиной 0,8—1,5 мм. Можно в качестве подкладки использовать последнюю заготовку, засверливая ее на $1/2$ толщины, а затем используя ее первой в следующем пакете заготовок. При сверлении заготовок слоев многослойных плат рекомендуется применять подкладки с обеих сторон.

При сверлении плат пакетом поступают таким образом, чтобы толщина пакета была менее длины канавки сверла, что обеспечивает возможность выхода стружки. Обычно пакет состоит из 4—5 заготовок. Отверстия диаметром 2,5 мм и более сверлятся в два

приема: вначале сверлится отверстие сверлом 1,5—1,8 мм, а затем оно рассверливается сверлом большого диаметра.

Сверление отверстий в заготовках печатных плат производится с помощью станков с программным управлением, обеспечивающих достаточно высокую производительность и точность.

Станки должны удовлетворять следующим требованиям: частота вращения шпинделя должна быть не менее 10 000 об/мин, подача шпинделя — не более 0,1 мм/об, отклонения от перпендикулярности оси шпинделя к базовой поверхности — менее 0,1 мм, биение сверла — менее 0,02 мм, усиление прижима вокруг обрабатываемого отверстия 1,5—2,0 МПа, точность перемещения по координатам не более $\pm 0,05$ мм, скорость движения воздуха в патрубке отсасывающего устройства — не менее 25 м/с.

Перечисленным выше требованиям удовлетворяет ряд конструктивных станков отечественного производства, в том числе представленных в табл. 6.

Таблица 6. Характеристика сверлильных станков с ЧПУ

Тип станка	Число шпинделей	Частота вращения шпинделя, тыс. об/мин	Размер обрабатываемых заготовок, мм	Точность позиционирования, мм
КД-06	4	12—28	250×500	$\pm 0,05$
ВП-910	3	До 72	300×300	$\pm 0,04$
СФ-4	4	10—60	500×500	$\pm 0,03$
ОФ-72Б	1	20	500×500	$\pm 0,06$
ОФ-101А	4	40	500×500	$\pm 0,04$
Примечание. Смена сверл автоматическая.				

Кроме станков с программным управлением применяются станки с ручным управлением типов КД-10 (станок с оптическим проектором) и КД-09 (станок с щуповым устройством).

В практике предприятий применяются импортные станки с ЧПУ (табл. 7).

Таблица 7. Характеристика импортных станков

Фирма	Тип станка	Частота вращения, тыс. об/мин	Число шпинделей, шт.	Точность	Примечание
«Шмоль» (ФРГ)	ABL24MS	40—60	4	$\pm 0,02$	—
«Поссалюкс» (Швейцария)	(Мультифор)	60—80	8	$\pm 0,02$	С прижимными втулками
«Эдванс контроль» (США)	(α-z)	90	4	$\pm 0,01$	Автоматическая смена сверл

Прижимные втулки защищают сверло от изгибов и гарантируют вход сверла под прямым углом, что особенно важно для МПП.

Заусенцы, образующиеся при сверлении, обычно удаляют механической зачисткой или электрохимическим полированием. Механическая зачистка поверхности фольги позволяет также удалять различного рода загрязнения, окислы, мелкие царапины, забоины.

Зачистка может осуществляться различными способами: шлифовальными кругами как эластичными, так и на жесткой связке; металлическими и нематаллическими щетками; пемзой; абразивной суспензией и т. п.

Наибольшее распространение в отечественной практике получила механическая зачистка с помощью вращающихся дисков из объемно-шлифовального полотна, в котором распределены абразивные материалы различной зернистости.

Диски из объемно-шлифовочного полотна толщиной 6 мм выпускаются по ТУ 2-036-755—78, диски типа «Акрол» — по ТУ 476-651—79. Наружный диаметр дисков — 120—125 мм, внутренний 30—32 мм. В сжатом виде круги или диски имеют толщину 3 мм. В установке для зачистки АРСМ 3.190.001 имеется четыре валика по два с каждой стороны, между которыми по конвейеру проходят заготовки. На валики монтируются шлифовальные круги по 200 шт. на каждый валик. Частота вращения валиков до 1000 об/мин. Скорость конвейера от 0,2 до 2,0 м/мин. Установка смонтирована в состав линии для химико-механической подготовки поверхности заготовок печатных плат ГГМ1.240.006.

На линии выполняются следующие операции: загрузка заготовок на конвейер, зачистка шлифовальными кругами, промывка водопроводной водой (под высоким давлением), визуальный контроль качества зачистки, обработка 50 %-ым раствором соляной кислоты, промывка водопроводной водой, сушка воздухом, разгрузка заготовок с конвейера.

На некоторых предприятиях используют для механической зачистки импортные установки фирм «Реско» (Италия), «Билко» (США) и др., в которых осуществляется зачистка шлифовальными кругами или обработка щетками, смоченными в суспензии пемзы с водой. Тонкие фольгированные диэлектрики размером до 200 мм можно защищать на установках ферромагнитной зачистки, в которых стальной порошок под влиянием переменного магнитного поля удаляется с поверхности, создавая равномерно-матовую микрошероховатую поверхность. Ферромагнитная установка имеет, однако, ограниченное применение из-за невозможности обработки заготовок с отверстиями, внедрения частиц железа в медь, сложности в приобретении порошков и возможности использования ее только для плат размером менее 200 мм.

К числу механических способов зачистки относят также гидроабразивную обдувку заготовок, используемую для удаления с поверхности фольгированного диэлектрика окисных пленок, заусенцев, а также смолы, с торцов контактных площадок, наволакиваемой в процессе сверления.

Гидроабразивная обработка весьма эффективно используется для удаления из отверстий многослойных печатных плат травильных шламов, образующихся после операции травления диэлектрика. В конвейерной установке типа «Бласт» смонтировано по 11 форсунок с каждой стороны, через которые подается абразивная водяная

пульпа под давлением 0,55—0,7 МПа, являющаяся смесью карборунда SiC (зернистостью М40) с водой в отношении 1 : 3.

Установка позволяет обрабатывать заготовки плат с максимальным размером 500×500 мм и минимальным — 80×80 мм. Форсунок совершают колебательные движения с частотой качания от 0,83 до 1,67 качаний в секунду. Расход воздуха в установке — 13 м³/мин. Для мелкосерийного и опытного производства такая энергоемкая установка нерентабельна, поэтому выпускается устройство, в котором заготовка совершает возвратно-поступательное движение в водной суспензии абразивного материала зернистостью М40 в отношении 2 : 1. Количество циклов в минуту — 120, продолжительность обработки 10—15 мин.

8. Штамповочные операции и обработка по контуру

Штамповочные операции широко применяются в производстве печатных плат главным образом при выпуске массовой продукции в виде односторонних плат из гетинакса и в крупносерийном производстве двусторонних и многослойных печатных плат.

Штамповочные операции при изготовлении печатных плат бытовой радиоаппаратуры из гетинакса применяются при вырубке заготовок, штамповке отверстий различной формы и вырубке плат по контуру. При вырубке заготовок и печатных плат пользуются вырубным штампом, детали которого изготавливаются из легированной стали марок Х12М и Х12Ф1 или из твердого сплава ВК15. Усилие прижима (Н) при штамповке определяется по формуле: $P_{np} = P_{np} L \delta$, где P_{np} — давление прижима на поверхность среза, Па; L — периметр среза, мм; δ — толщина материала, мм.

Давление прижима составляет 6—10 МПа при толщине материала до 1 мм, 10—15 МПа при толщине материала от 1 до 2 мм, 15—20 МПа при толщине материала более 2 мм.

Непараллельность между плоскостью прижима и зеркалом матрицы должна быть не более 0,03 мм на 100 мм. Зазор между пуансоном и матрицей в пределах 0,02—0,03 мм.

Штамповочные операции выполняются с помощью кривошипных прессов марок КД2324 и КД2328. Штамповка заготовок и отверстий в гетинаксе производится без подогрева материала. При обработке плат из стеклотекстолита рекомендуется нагрев материала до 80—100 °С при толщине материала 2 мм и выше. Выдержка 5—7 мин на 1 мм толщины. Нагрев снижает возможность сколов и образования трещин.

Для получения качественных кромок отверстий в гетинаксе рекомендуется руководствоваться следующими нормами: диаметр отверстия должен быть 0,41δ и более, сторона квадрата — 0,45δ и более, меньшая сторона прямоугольника равна 0,35δ, где δ — толщина материала, мм.

Штамповка заготовок из стеклотекстолита и вырубка плат по контуру производится вырубными штампами аналогичной конструкции. Поверхностные сколы, ореолы, трещины вокруг отверстий и по периметру печатных плат обуславливаются завышенной скоростью штамповки, плохим состоянием режущих кромок и отклонениями в величине зазора между пуансоном и матрицей. Допустимые значения указанных дефектов по ГОСТ 2366—79 представлены в табл. 8.

Материал	Ширина поверхностных сколов, ореолов, мм, при толщине материала, мм						
	До 0,5	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Гетинакс	—	—	0,8	1,1	1,3	1,6	2,0
Стеклотекстолит	0,3	0,4	0,6	1,0	1,2	1,4	1,7

При изготовлении многослойных печатных плат важное значение имеет точность совмещения контактных площадок в различных слоях по оси металлизированных отверстий. Необходимая точность обеспечивается штамповкой фиксирующих отверстий на технологическом поле заготовок из тонкого фольгированного диэлектрика, на котором способом травления создан проводящий рисунок.

Предприятия применяют различные конструкции устройств для пробивки базовых (фиксирующих) отверстий в слоях МПП. Централизованно выпускается универсальная установка совмещения и пробивки базовых отверстий УПБО, она имеет следующие характеристики: максимальный размер обрабатываемых слоев 540×540 мм, минимальный размер обрабатываемых слоев 240×240 мм. Перемещение подвижного проектора бесступенчатое — от 220 мм до 520 мм.

Шаг перемещения блока пробивки $10 \pm 0,02$ мм, диаметры пробивных и ориентирующего отверстий (мм) соответственно 5Аз и 6Аз. Точность расположения центров отверстий от реперного знака $\pm 0,04$ мм.

Обработка плат по контуру и обрезка облоя после прессования заготовок МПП в зависимости от (ГОСТ 23665—79) масштабов производства осуществляется фрезерованием, алмазной резкой, резкой на гильотинах или штамповкой.

Фрезерование осуществляется твердосплавными дисковыми фрезами по ГОСТ 20320—74 и ГОСТ 20321—74. Для обработки сложного контура применяются твердосплавные концевые фрезы по ГОСТ 18372—73.

Для процесса фрезерования характерны следующие параметры: угол наклона зубьев — 40° ; скорость резания — $110\text{--}140$ м/мин; подача фрезы — $0,08\text{--}0,4$ мм/зуб. Число зубьев для облегчения выхода стружки принимается минимальным. Для фрезерования может быть использован универсальный фрезерный станок 675П с размером рабочей поверхности стола 200×500 мм и частотой вращения шпинделя: вертикального — $50\text{--}1630$ об/мин, горизонтального — $63\text{--}2040$ об/мин.

Специальными станками для фрезерования являются станок СФ-4, который рассчитан на обработку плат размером 500×500 мм.

В условиях опытного или мелкосерийного производства целесообразно применять обрезку по контуру с помощью алмазных или абразивных кругов (ГОСТ 10110—78) на станках собственной конструкции. При этом линейная скорость резания должна быть не менее 30 м/с, подача — $3\text{--}6$ м/мин, торцевое биение — не более 0,1 мм.

1. Размеры заготовок подлежат выборочному контролю посредством измерения универсальными мерительными инструментами с ценой деления, обеспечивающими заданную точность.

2. Диаметры фиксирующих и технологических отверстий проверяют выборочно с помощью двусторонних пробок-калибров. Расстояние между центрами отверстий лучше всего проверять с помощью приспособления, представляющего собой жесткую плиту с фиксаторами.

3. Величину деформации определяют с помощью калибровочной щели, образуемой двумя параллельными плитами, длина которых превышает длину заготовок. Расстояние между плитами регулируется. Для проверки величины деформации заготовка пропускается через щель. При деформации, выше установленной, заготовка застревает в щели.

4. Проверку соответствия количества отверстий рабочему чертежу удобно производить с помощью эталонной платы-трафарета визуально на просвет.

5. Диаметры отверстий, подлежащих металлизации, также проверяют с помощью двусторонних калибров-пробок.

6. Предельные отклонения центров отверстий относительно узлов координатной сетки следует проверять с помощью эталонной сетки шаблона.

7. Проверку печатных плат по внешнему виду необходимо производить сличением с эталоном, используя лупу с пятикратным увеличением или микроскопом МБС-2.

III. ХИМИЧЕСКАЯ МЕТАЛЛИЗАЦИЯ

9. Теоретические основы процесса химического меднения

Получение металлического проводящего рисунка как в отверстиях, так и на поверхности диэлектрических материалов осуществляется обычно в две стадии. Вначале диэлектрик металлизуются химическим (бестоковым) способом, а затем на полученный тонкий слой металла осаждается медь гальваническим способом до необходимой толщины металлического слоя. В так называемых аддитивных методах изготовления печатных плат проводящий рисунок получают за одну операцию химической металлизации, осаждавая достаточно толстый слой металла, не прибегая к гальваническим процессам.

Способом химической металлизации можно осадить различные металлы: серебро, медь, никель, кобальт и др., однако наиболее экономичным является процесс химического меднения, который обеспечивает также хорошее сцепление металла с диэлектриком и необходимую электропроводность.

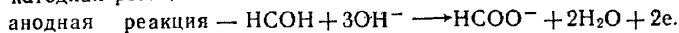
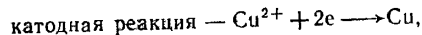
Процесс химического меднения характеризуется сравнительно меньшими затратами на материалы, сами растворы отличаются высокой стабильностью и удобны в эксплуатации, так как не требуют сложного оборудования.

Химическое восстановление меди из растворов ее солей происходит под действием веществ-восстановителей, к числу которых относится формальдегид, являющийся дешевым и недефицитным материалом. Реакция восстановления меди протекает в щелочной среде, поэтому ионы меди должны быть связаны каким-либо комплексообразователем во избежание осаждения меди в виде гидроксидов [7].

Процесс химического меднения является типичным окислительно-восстановительным процессом, протекающим в присутствии катализа-

тора. Этот процесс относится к категории автокаталитических, т. е. начинается он под действием какого-либо катализатора, например металлического палладия, а затем образовавшиеся кристаллы меди сами катализируют дальнейшее выделение меди и процесс происходит уже самопроизвольно.

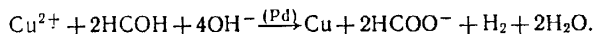
Окислительно-восстановительная реакция образования металлической меди может быть представлена в следующем виде:



Стандартный окислительно-восстановительный потенциал этой реакции равен 1,07 В. Параллельно этой реакции происходит окисление формальдегида гидроксильными ионами с образованием газообразного водорода:

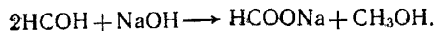


Суммарная реакция восстановления меди



Справедливость этой реакции подтверждается тем, что образуются указанные в ее правой части продукты, причем на 1 моль выделяющейся меди приходится 1 моль газообразного водорода.

Увеличенный против реакции расход формальдегида и щелочи объясняется протеканием реакции Каницаро:



Побочной реакцией, происходящей при химическом восстановлении меди, является частичное восстановление меди до одновалентного состояния и образования закиси меди Cu_2O по уравнению $2\text{Cu}^{2+} + 5\text{OH}^- + \text{HCON} \longrightarrow \text{Cu}_2\text{O} + \text{HCOO}^- + 3\text{H}_2\text{O}$.

Образование частиц закиси меди является одной из причин разложения раствора, так как они, играя роль катализатора, обуславливают восстановление меди в объеме раствора. С целью предупреждения данного явления в состав раствора вводят в очень малых количествах вещества-стабилизаторы, которые адсорбируясь на малых частицах металлической меди, приостанавливают их дальнейшее увеличение и этим сохраняется дальнейшая работоспособность раствора. Положительную роль оказывает также воздушное перемешивание, так как кислород воздуха окисляет закись меди в соединения, где медь двухвалентна. Медь связывается затем в исходную комплексную соль.

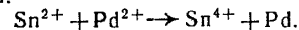
В качестве комплексообразователей служат обычно калий-натрий виннокислый (тарtrat калия-натрия), динатриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты (трилон Б), лимонная кислота, этилендиамин.

10. Активирование поверхности

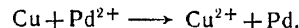
Процесс химического меднения, как указывалось выше, является автокаталитическим — в начале его требуется катализатор в виде частиц металлического палладия или другого вещества. Операция,

в результате которой на диэлектрике создаются каталитические частицы, называется активированием.

В практике химического меднения полимерных материалов активирование осуществляют последовательной обработкой деталей вначале в растворе хлористого олова ($\text{SnCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 20—25 г/л, NaCl 40—60 мл/л), а затем после промывки в воде детали погружают в раствор хлористого палладия, содержащий 0,5—1,0 г/л PdCl_2 и 12—18 мл/л HCl плотностью 1190 кг/м³ и снова промывают. Двухзарядные ионы олова, адсорбирующиеся на поверхности диэлектрика, восстанавливают ионы палладия на диэлектрике до металла по реакции:



Такой способ активирования печатных плат из фольгированных диэлектриков не рекомендуется, так как на медной фольге вследствие реакции контактного обмена выделяется металлический палладий:



Это приводит к быстрому истощению раствора активирования и непрочному сцеплению слоя металла с медной фольгой.

Имеется другой вариант раствора активирования, в котором палладий находится в виде аммиачно-трилонатного комплекса, и в этом случае реакция контактного вытеснения палладия отсутствует. Раствор этот содержит 3,5—4 г/л хлористого палладия, 11—12 г/л трилона Б и 300—350 мл/л 25 %-ного аммиака. Температура раствора 15—20 °С, выдержка — 3—5 мин.

После промывок в воде детали необходимо обработать в растворе гипофосфита натрия, содержащем 30—50 г/л NaH_2PO_2 в течение 2—5 мин с целью повышения каталитической активности поверхности, так как гипофосфит, будучи очень сильным восстановителем, способствует более полному восстановлению палладия из довольно прочного комплексного соединения, в котором он находится. Активирование заготовок печатных плат в данном растворе применяется многими предприятиями.

За последние годы все большее применение получил метод прямого активирования посредством обработки заготовок плат в так называемом совмещенном растворе, содержащем одновременно ионы палладия и олова. Ниже приведен состав раствора (г/л).

Хлористое олово	40—45
Хлористый палладий	0,8—1,0
Соляная кислота	75—80
Хлористый калий	140—150
или	
Хлористый натрий	115—120

В этом растворе палладий находится в двух формах: в виде коллоидных частиц металла и его комплексной соли. После обработки плат в совмещенном растворе следуют промывки в воде, в результате чего происходит гидролиз солей олова и адсорбция гидроокисных соединений олова вместе с солями палладия и его коллоидными частицами на поверхности диэлектрика.

Полное восстановление палладия и удаление солей олова имеет место при последующей обработке в растворе «ускорителя» (20—35 г/л NaOH) в течение 2 мин и промывке в проточной

воде. При этом происходит коагуляция частиц палладия и отмывка от четырехвалентного соединения олова.

Очевидно, что промывочная операция в процессе активирования с помощью совмещенного раствора имеет важное значение. Если она недостаточна по времени, то не произойдет гидролиза каталитического комплекса, т. е. не будет удален обволакивающий частицы палладия слой гидроокиси четырехвалентного олова. Удлинение времени промывки приводит к смысанию реагирующих компонентов, и эффект активирования не достигается.

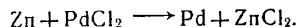
Следовательно, активирование при использовании совмещенного раствора состоит из следующих операций: погружения в совмещенный раствор на 5—10 мин; промывки в воде в течение 2 мин; погружения в раствор «ускорителя» на 1—2 мин; промывки в воде в течение 2 мин; погружения в раствор химического меднения.

С целью улавливания соединений палладия, относящихся к категории драгоценных металлов, устанавливается не менее двух улавливателей с непроточной водой. Извлечение палладия из них производится по методике, изложенной ниже.

Приготовление совмещенного раствора активирования необходимо выполнять по следующей методике: навеску хлористого палладия растворить в соляной кислоте из расчета 6 мл кислоты плотностью 1190 кг/м³ на 1 л приготавливаемого раствора при температуре 50—60 °С. Раствор охладить, разбавив водой до 20 мл на 1 л. В отдельной порции растворить хлористое олово в соляной кислоте из расчета 20 мл кислоты на 1 л приготавливаемого раствора при температуре 40—50 °С. Раствор охладить, добавив воды по 30 мл на 1 л раствора. Раствор хлористого олова медленно вливать в раствор хлористого палладия; выдержать полученную смесь при температуре 90—100 °С в течение 10—15 мин. Затем в полученный раствор влить оставшуюся кислоту и хлористый калий, растворенные в том количестве воды, которое необходимо для доведения ванны до рабочего уровня. Вода для приготовления растворов — дистиллированная.

Корректирование раствора производится по данным химического анализа. При уменьшении содержания SnCl₂ до 10—12 г/л раствор корректируют введением кристаллического SnCl₂·2H₂O, затем подогревают до температуры 60—70 °С в течение 10—12 мин. При уменьшении содержания PdCl₂ до 0,2—0,3 г/л раствор корректируют введением концентрированного раствора PdCl₂ в соляной кислоте. В случае образования осадка или ослабления активирующей силы раствор корректируют по всем компонентам и подогревают до температуры 60—70 °С в течение 10—20 мин. Раствор не следует фильтровать.

Извлечение палладия из отработанных растворов производится следующим образом. В отработанные растворы активирования и улавливатели погрузить цинковые стержни, добавив в улавливатели соляную кислоту (140 г/л) для создания кислой среды. В результате контактного обмена на поверхности цинковых стержней выделяется металлический палладий по реакции



Порошкообразный осадок палладия механически удаляется и растворяется в соляной кислоте, к которой добавлена перекись водорода (пергидроль) в количестве 10—20 мл/л. Полученный раствор нагрева-

ется до разложения перекиси водорода, охлаждается и анализируется. Раствор можно использовать для корректирования ванны активирования или после упаривания сухой остаток сдается в качестве возвратных отходов.

11. Растворы химического меднения

Состав растворов. Растворы, применяемые для химического меднения, отличаются большим многообразием содержащихся в них компонентов, однако в состав каждого раствора обязательно должны входить следующие вещества: соли меди; вещества для связывания меди в комплексную соль (лиганды); вещество-восстановитель (формальдегид); вещество, обуславливающее необходимую величину pH раствора; различные добавки.

В производстве печатных плат получили применение растворы, представленные в табл. 9.

Таблица 9. Состав раствора химического меднения (г/л)

Компоненты и режим работы	Номер раствора		
	1	2	3
Сернокислая медь	10—15	15—15	25—35
Виннокислый калий-натрий	50—60	—	—
Трилон Б	—	25—30	80—90
Едкий натр	10—15	13—15	40—60
Углекислый натрий	2—4	—	20—30
Хлористый никель	2—4	—	—
Формалин (33%-ный), мл/л	10—20	10—20	20—30
Серноватистокислый натрий	0,001—0,002	—	—
Родаминистый калий	—	0,01—0,080	—
Роданин	—	—	0,003—0,005
Железосинеродистый калий	—	—	0,1—0,15
pH	12,6—12,8	12,6—12,8	12,6—12,8
Плотность загрузки, дм ² /л	До 4	2	2

Раствор 1 (ГОСТ 23770—79) является наиболее распространенным и экономичным раствором. Скорость осаждения меди — 2,5 мкм/ч, выдержка плат в растворе — 15—25 мин, толщина осаждаемого при этом слоя меди менее 1 мкм. В качестве стабилизаторов вместо тиосульфата натрия можно применять сульфид свинца (0,05 г/л) или диэтилдитиокарбонат натрия (0,005—0,01 г/л). Вместо виннокислого калия-натрия допускается применение винограднокислого.

Раствор 2 на основе комплексной соли меди с трилоном Б является более устойчивым по сравнению с раствором 1, поэтому раствор 2 характеризуется повышенной стабильностью и в нем достигается возможность осаждения слоя меди толщиной 3 мкм за 15—20 мин при температуре раствора 20—25 °С. Для снижения поверхностного натяжения и облегчения разряда водорода рекомендуется вводить лаурилсульфат натрия в количестве 0,1—0,3 г/л.

Применение раствора 2 при металлизации заготовок допускает возможность исключить операцию предварительного гальванического меднения, так как слой меди толщиной 3 мкм, полученный в результате

химического меднения, достаточно прочен и обеспечивает выполнение последующих технологических операций.

Раствор 3 (ГОСТ 23770—79) применяется для металлизации печатных плат как более стабильный раствор, содержащий медь в виде трилонатного комплекса. Раствор может быть также использован для получения толстых слоев меди (25—30 мкм) при условии его непрерывного корректирования слоями меди, едким натром и формалином с помощью приборов автоматического дозирования, которые вводят указанные компоненты по сигналам датчиков-анализаторов. Возможно корректирование раствора по количеству пропущенных через него плат.

Приготовление и корректирование растворов. В отдельных объемах дистиллированной воды растворяют сернокислую медь, комплексообразователь и едкий натр. Затем сливают первые два раствора и при непрерывном перемешивании добавляют раствор едкого натра, после чего раствор в ванне доводят до рабочего уровня водой.

Раствор выдерживают 10—12 ч, фильтруют и корректируют по величине pH добавкой NaOH или H₂SO₄. Формалин вводят за 15—20 мин до начала работы; стабилизаторы — через 2—3 мин после начала процесса химического меднения в количестве, соответствующем нижнему пределу, установленному рецептурой.

Корректирование раствора 1 производят по данным экспресс-анализа на содержание CuSO₄, NaOH, CH₂O ежедневно в начале работы, по виннокислому калию-натрию один раз в 3—4 дня, тиосульфат натрия вводят в раствор в конце работы в количестве 0,001 г/л.

Для предотвращения разложения раствора в период длительного хранения (более 24 ч) необходимо подкислить его до величины pH 5—6 добавлением серной кислоты, при небольших перерывах — подкислять до pH 12,2—12,3.

В случае закисления раствора тиосульфат следует вводить только после подщелачивания до pH 12,4.

Корректирование раствора 2 по меди, щелочи, формалину производят по данным химического анализа. Трилон Б добавляют в количестве от 5 до 7 г/л через 2—3 дня работы. Для длительного хранения раствора в нерабочем состоянии раствор следует подкислить серной кислотой до pH 10,0—10,5. Учитывая высокую стоимость этого продукта, а также необходимость исключить сброс в канализацию солей при смене раствора в ваннах химического меднения, поступают следующим образом.

В отработанном растворе химического меднения определяют концентрацию меди и сегнетовой соли, а затем добавляют сернокислую медь до получения концентрации Cu²⁺, эквивалентной KNaC₄H₄O₆.

После этого раствор подкисляют серной кислотой до pH 3,8—4,3, в результате чего выпадает осадок виннокислой меди. Осадок декантируют, промывают холодной водой, собирают и высушивают при комнатной температуре. Виннокислую медь используют для приготовления свежих растворов.

Вышеприведенная методика позволяет полностью утилизировать ценные продукты (медь и соли виннокаменной кислоты), а также снизить затраты на обработку стоков, содержащих соли меди.

Основные неполадки при химическом меднении представлены в табл. 10.

Таблица 10. Основные неполадки при химическом меднении

Характер неполадок	Причины неполадок	Способы устранения
Отсутствие меди в отверстиях малого диаметра при большой толщине плат	Раствор плохо прокачивается через отверстия	Улучшить прокачку раствора
Отсутствие меди на отдельных участках отверстий	Плохая смачиваемость активатором Заполировка стенок при сверлении тупым сверлом Мала продолжительность активирования и промывок Завальцовка лака при сверлении	Улучшить обезжиривание Заточить сверла Увеличить продолжительность активирования и промывки Изменить технологию, исключить технологическую лакировку
Разложение раствора	Попадание палладия в ванну Отложение меди на стенках ванны и в коммуникациях Перегрев раствора Увеличена площадь загрузки Избыток щелочи	Улучшить промывку после активирования Устранить причину и отфильтровать раствор через фильтр с порами 2 мкм Охладить сухим льдом в полиэтиленовых мешочках Уменьшить площадь загрузки заготовок, подлежащих меднению Подкислить раствор до pH 12,7—12,8
Малая скорость осаждения меди	Низкая температура раствора Завышенное количество стабилизаторов Недостаточная каталитическая активность	Подогреть до температуры 20—25°C Прекратить введение стабилизаторов при корректировании Улучшить подготовку поверхности в активаторах
Шероховатость осадка меди	Попадание частиц пыли в раствор Соосаждение частиц меди	Фильтровать раствор Фильтровать раствор и усилить воздушное перемешивание
Темная медь	Низкое содержание NaOH Попадание органических примесей	Корректировать раствор по NaOH Исключить возможность дальнейшего попадания масел и других загрязнений

Характер неполадок	Причины неполадок	Способы устранения
Медь не осаждается совсем	Завышено содержание стабилизаторов Отклонение от нормы при активировании	Дополнить ванну свежим раствором без стабилизаторов Проверить правильность выполнения операций активирования

Хлористый никель	4
Формальдегид (37 %-ный)	10—15
Диэтилдитиокарбомат, мг/л	50
pH	12,8

IV. ПОЛУЧЕНИЕ ЗАЩИТНОГО РЕЛЬЕФА

12. Способы создания защитного рельефа

Для всех применяемых в производстве методов изготовления печатных плат необходимой операцией является получение защитного рельефа (рисунка). В негативных процессах рисунок защищает от вытраивания проводящие элементы печатной платы; в позитивном процессе рисунок необходим для защиты от электрохимического осаждения покрытий на пробельные места, т. е. на участки, с которых удаляется медь травлением.

В зависимости от условий производства и принятого технологического процесса при изготовлении печатных плат применяют фотохимическую, трафаретную или офсетную печать [3, 7].

Процесс фотохимической печати основан на том, что под действием света, его ультрафиолетовой части спектра, некоторые виды материалов, называемые фотополимерными материалами, полимеризуются, образуя из линейных углеродных цепочек разветвленные молекулярные структуры. В результате полимеризации эти материалы приобретают новые свойства и, в частности, устойчивость к воздействию растворителей, которые были первоначально использованы для растворения этих материалов. Фотополимерные материалы, обладающие подобными свойствами, называют фоторезистами. Фотохимическая печать применяется главным образом в условиях мелкосерийного производства, а также в тех случаях, когда требуется повышенная разрешающая способность (зазоры и ширина проводников менее 0,3 мм).

В условиях крупносерийного производства наибольший эффект получен от применения трафаретной печати или метода сеткографии. В этом случае на сетчатом полотне образуют с помощью фоторезистом защитный рисунок, который закупоривает ячейки сетки. Защитный рельеф на плате создается продавливанием через такую сетку специальных стойких красок, проходящих через свободные ячейки сетки.

Офсетная печать предусматривает перенос изображения с клише на резиновый валик, а при дальнейшем движении валика краска переносится на плату, формируя на ней рисунок, повторяющий изображение на клише. Метод обладает большой производительностью, легко автоматизируется, но защитный красочный слой, образуемый на плате, очень тонок (~1 мкм) и порист, а многократное нанесение изображения ухудшает точность рисунка. Офсетный способ не получил распространения на предприятиях.

13. Жидкие фоторезисты

Существует очень много материалов, обладающих способностью полимеризоваться под действием света, однако в практике производ-

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПРИ ХИМИЧЕСКОМ МЕДНЕНИИ

Химическое меднение отверстий в заготовках печатных плат является весьма ответственной операцией, определяющей качество металлизации и соответственно качество плат. При выполнении всего комплекса операций процесса металлизации следует руководствоваться нижеприведенными правилами.

1. Заготовки плат с просверленными отверстиями помещаются в вертикальном положении в кассеты, изготовленные из коррозионно-стойкой стали или из полимерных материалов (полипропилен, фторопласт).

В процессе меднения и при выполнении предварительных операций необходимо осуществлять возвратно-поступательное движение кассет для того, чтобы растворы циркулировали через отверстия в платах.

2. После каждого цикла операции меднения кассеты следует обрабатывать в одном из травильных растворов для удаления частиц меди, которые могут оседать на их поверхность в ванне химического меднения.

3. Раствор ванны химического меднения должен непрерывно фильтроваться для удаления механических загрязнений и частиц меди, образующихся в результате восстановления меди на взвешенных в растворе механических примесях.

4. После активирования плат в совмещенном растворе и промывки в двух улавливателях следует обработка в растворе, содержащем 20—21 г/л NaOH, промывка и загрузка в ванну химического меднения. В том случае, если производится электрополирование, обработка в щелочном растворе не производится.

5. Если для активирования используется аммиачно-трилонатный раствор, то после промывки платы обрабатываются в растворе-восстановителе, содержащем 30—50 г/л NaH_2PO_2 вместо раствора едкого натра, независимо от того, производится электрополирование или нет.

6. Платы, имеющие слой химически осажденной меди толщиной более 1 мкм, рекомендуется термически обработать при температуре 80—90 °C в течение 1 ч.

7. С целью замены в растворах химического меднения дорогой соли винной кислоты (сегнетовой соли) создан синтетический продукт — винограднокислый калий-натрий. Эта соль, хотя и имеет аналогичный состав, но отличается по структуре от сегнетовой и вследствие этого растворы химического меднения с применением винограднокислых солей характеризуются худшей стабильностью.

По опыту ряда предприятий достаточно хорошей стабильностью обладает раствор следующего состава:

Сернистая медь	10—15
Винограднокислый калий-натрий	60—70
Едкий натр	20—25
Кальцинированная сода	20

ства печатных плат применяют фоторезисты на основе поливинилового спирта (ПВС), фоторезисты на основе диазосоединений, ФПП и фоторезист «холодная эмаль».

Фоторезист на основе ПВС. Поливиниловый спирт — синтетический полимер, хорошо растворимый в воде. При добавлении к нему бихромата аммония происходит «очувствление» ПВС и превращение его в фотополимерный материал. По ГОСТ 10779—78 выпускается ПВС марок 7/1, 11/2 и 15/2 для производства печатных плат.

Фоторезист, содержащий 70—120 г/л поливинилового спирта, 8—10 г/л двуххромовокислого аммония и 100—120 мл/л этилового спирта, обычно наносится в два слоя окунанием в него плат и медленным вытягиванием их из раствора. Первый слой подсушивается при 25—35 °С в течение 20—30 мин, второй — при температуре 35—45 °С в течение 60 мин. Экспонирование изображения осуществляется в вакуумных рамах под действием ртутно-кварцевых ламп ДРТГ-3000 в качестве источников света. Проявление изображения производится следующим образом: вначале плату погружают в раствор метилвиолета (2—3 г/л) на несколько секунд, а затем, окунув ее в теплую воду, или под струей теплой воды поверхность платы протирают с помощью поролоновой губки. Окраска нужна для контроля качества проявления. После промывки в воде следует химическое дубление в растворе хромовой кислоты (50 г/л) в течение 1—2 мин. После тщательной промывки и сушки воздухом производят термическое дубление при температуре 100—120 °С в течение 3 ч для придания фоторезисту повышенной химической стойкости.

Фоторезист на основе ПВС нетоксичен, обладает хорошей разрешающей способностью (50 линий на 1 мм), прост в приготовлении и употреблении. Однако он обладает рядом недостатков: «темновое дубление» (задубливание в темноте), нестабильность свойств под влиянием повышенной влажности и температуры окружающей среды, недостаточная устойчивость против воздействия растворов гальванических ванн и особенно борфтористоводородных электролитов.

«Темновое дубление» влечет за собой повышенный процент брака на операции получения защитного рисунка. Оно является результатом окисления фоторезиста свободной хромовой кислотой, которая образуется вследствие гидролиза двуххромовокислого аммония, входящего в состав фоторезиста. «Темновое дубление» усиливается с увеличением влажности воздуха и повышением температуры, а также при длительном (более 3 ч) хранении заготовок с нанесенным фоточувствительным слоем. Повышенная влажность и температура окружающей среды, кроме того, ухудшают механическую прочность и адгезию фоточувствительного слоя.

Фоторезисты на основе диазосоединений. Эти фоторезисты являются позитивными по способу образования рисунка, т. е. при экспонировании они разрушаются под действием света. Фоторезисты этого типа характеризуются очень высокой разрешающей способностью (350—400 линий на 1 мм), отсутствием «темнового дубления» и повышенной химической стойкостью, однако они еще очень дорогие, токсичные и применяются только в технически обоснованных случаях. Светочувствительность обусловлена наличием «диазогрупп» — N=N—, которые под действием света разлагаются и образуют продукты в виде сложных органических кислот. Эти продукты в щелоч-

ной среде образуют хорошо растворимые соли, которые способствуют проявлению рисунка.

Фоторезист ФПП. Фотополимер для печатных плат ФПП выпускается в виде готового продукта по ТУ НУО. 028.012. Фоторезист обладает хорошей устойчивостью к электролитам, механически прочен, имеет хорошую адгезию к подложке и большую разрешающую способность.

Однако высушенный слой фоторезиста весьма чувствителен к кислороду, который ингибирует эффект фотополимеризации. Для защиты от воздействия кислорода фоторезист покрывают лавсановой пленкой или наносят тонкий слой ПВС.

Фоторезист «холодная эмаль» является продуктом, аналогичным фоторезисту ФПП, и готовится непосредственно на предприятии из отдельных компонентов, к которым относятся бензол-формальдегидная смола, сухой сополимер, полиэфир ТГМ, гидрохинон, метилвиолет, растворенный в этиловом спирте (на 1 л фоторезиста необходимо 820 мл спирта).

Этот тип фоторезиста также обладает рядом преимуществ перед составом на основе ПВС, в частности большей химической стойкостью, прочностью, стабильностью, и характеризуется отсутствием «темнового дубления».

Формирование защитного рельефа с помощью фоторезиста ФПП производится в той же последовательности операций, что и для фоторезиста ПВС.

Проявление рисунка производится раствором двууглекислого натрия (концентрацией 40 г/л) или соды кальцинированной (концентрацией 40 г/л) при температуре 35—40 °С.

В операции дубления нет необходимости, так как защитный рисунок создается весьма устойчивой пленкой.

Из отработанного проявителя можно утилизировать фоторезист, добавляя к проявителю 10 %-ный раствор серной кислоты до pH 5—6 (по индикаторной бумаге).

Компоненты фоторезиста выпадают в осадок, который отфильтровывается бумажным фильтром, подсушивается на воздухе и вторично используется для приготовления фоторезиста в виде спиртового раствора.

Существенным недостатком жидких фоторезистов всех типов является почти полная невозможность их использования в базовой технологии для нанесения на заготовки плат с просверленными отверстиями, так как при заливке отверстий жидкими фоторезистами образуются вытяжки, неровности и другие дефекты, затрудняющие фотопечать.

Другим их недостатком является малая толщина слоя защитного рисунка, вследствие чего при гальванических операциях осаждаемый металл, разрастаясь, образует грибовидную форму проводника. Однако использование фоторезиста ФПП в базовой технологии имеет место в тех случаях, когда фоторезист наносится на заготовку с металлизированными отверстиями на валковых установках. Тогда он не попадает в отверстия.

Для защиты при экспонировании поверхностного слоя фоторезиста от воздействия кислорода и озона на плату наносят окунанием слой желатины, который легко удаляется в процессе проявления. Основные характеристики жидких фоторезистов приведены в ГОСТ 23727—70.

14. Сухие пленочные фоторезисты

Сухие пленочные фоторезисты СПФ представляют собой трехслойную композицию, в которой первый и третий слои — защитные, а средний слой представляет собой собственно фоторезист весьма сложного состава. Основу фоторезиста составляют мономеры с двойными связями, способные к полимеризации под действием света, и полимерные связующие. В состав фоторезиста вводятся также сенсибилизаторы, ингибиторы, адгезивы, красители и пластификаторы. Структура фоторезиста представлена на рис. 7.

Импортные сорта фоторезиста типа «Ристон» выпускаются в четырех модификациях и имеют толщину слоя 12,5; 25; 37,5 и 62,5 мкм.

Отечественные пленочные фоторезисты марок СПФ-1, СПФ-2, выпускаемые по ТУ 6-17-359—77, имеют толщину пленки 20, 40 и 60 мкм. Некоторые свойства СПФ-2 описаны в ГОСТ 23727—79.

Пленочные фоторезисты значительно технологичнее жидких, обеспечивают возможность нанесения рисунка схемы на заготовки с отверстиями, обладают высокой стойкостью к действию травильных растворов и к электролитам гальванических ванн. Их разрешающая способность обеспечивает получение минимальной ширины проводников и зазоров 0,15 мм. Сухие пленочные фоторезисты наносятся

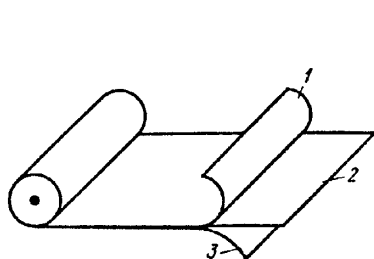


Рис. 7 Структура пленочного фоторезиста:
1 — полиэтиленовая пленка; 2 — сухой фоторезист; 3 — пленка лавсана

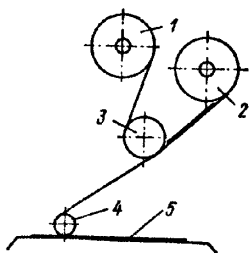


Рис. 8. Схема нанесения пленочного фоторезиста:
1 — бобина для намотки полиэтиленовой пленки;
2 — рулон фоторезиста;
3 — отделительный валик;
4 — прижимной валик;
5 — плата

на платы посредством прокатывания их горячим валиком через защитную лавсановую пленку в установках-ламинаторах. Температура валиков 100—120 °С. Защитная полиэтиленовая пленка перед этим отделяется и наматывается на вспомогательную бобину.

Схематическая операция нанесения СПФ представлена на рис. 8. В том случае, когда СПФ наносится с целью защиты от вытравливания, используют фоторезист толщиной 20 мкм; для гальванических операций применяют пленку толщиной 40—60 мкм.

Следует иметь в виду, что в процессе ламинирования (накатки) выделяются газообразные продукты в виде хлорированных углеводов — хлористый метилен и трихлорэтилен, которые относятся

к категории весьма токсичных веществ, поэтому в установках для ламинирования предусматривается вытяжная вентиляционная система. После накатки СПФ платы выдерживают в течение 30 мин при комнатной температуре в помещении с желтым светом (так называемое «неактивное» освещение) для снятия внутренних напряжений в пленке. Экспонирование производят через прозрачную лавсановую пленку так же, как и для жидких фоторезистов, применяя ультрафиолетовый источник света в виде ртутно-кварцевых ламп с диапазоном спектра 300—400 нм. Продолжительность экспонирования определяется опытным путем. Перегрев платы недопустим, так как при этом происходит прилипание защитной лавсановой пленки к фоторезисту. После экспонирования заготовка плат выдерживается в течение 20—30 мин в затемненном месте для того, чтобы завершился процесс полимеризации тех участков фоторезиста, на которые воздействовал свет. Проявление изображения рисунка производится в установках струйного типа действием растворителя метилхлороформа в течение 1—2 мин.

Удаление фоторезиста по окончании операции травления или гальванического покрытия сплавом олово—свинец производят также распылением растворителя хлористого метилена под более сильным давлением (0,3—0,4 МПа). С целью более полного удаления остатков фоторезиста и пленок органических материалов платы дополнительно подвергают струйной промывке водой под давлением 0,2—0,3 МПа.

При обработке СПФ следует иметь в виду, что растворители — метилхлороформ и хлористый метилен — негорючи, но чрезвычайно токсичны. Поэтому все операции, связанные с их применением, должны производиться в хорошо загерметизированных установках, оснащенных вытяжными устройствами.

В установках для проявления и снятия фоторезиста предусматривается замкнутый цикл использования растворителей. После орошения плат растворители поступают в дистилляторы и чистые растворители перекачиваются на повторное использование. Кубовые остатки от дистилляции периодически извлекаются и отвозятся за пределы населенных пунктов для захоронения в специально отведенных местах или сжигаются в печах с улавливанием продуктов сгорания водой во избежание загрязнения атмосферы хлоросодержащими газообразными веществами (фосгеном, хлорным водородом).

С целью уменьшения профессиональной вредности операции по обработке СПФ в токсичных растворителях и решения проблемы обезвреживания и уничтожения отходов производства разрабатаны и выпускаются промышленностью фоторезисты водорастворимого проявления: ТФПК (ТУ БУО.037.074) и СПФ-ВЩ (ТУ 6-17-1086—80). Фоторезисты этого типа можно применять только в тех случаях, когда последующие гальванические и химические операции производятся в нейтральных или кислых растворах. Проявление изображения производится в 2 %-ном растворе кальцинированной соды, а удаление — в 2 %-ном растворе едкого натра. В результате в растворах постепенно накапливаются продукты, входящие в состав фоторезиста. Эти продукты удаляются путем подкисления раствора проявителя 10 %-ным раствором серной или соляной кислот. Выпадающий осадок продуктов отфильтровывается, подсушивается и укладывается в тару для пересылки в места уничтожения промышленных отходов. Для обработки пленочного фоторезиста типа СПФ-2 имеется необходимый комплект оборудования в том числе:

1. Установка экспонирования рисунка с точечным источником света, обеспечивающая освещенность внутри загрузочной рамы до 45 КЛк.

2. Установка проявления фоторезиста, предназначенная для проявления СПФ-2 струями хлорированных растворителей на заготовках размером 500×500 мм. Установка конвейерного типа со скоростью конвейера от 0,2 до 4 м/мин. Производительность до 10 м²/ч. В комплект установки входят дистиллятор, способный перегнать до 100 л/ч метилхлороформ или хлористого метилена и установка очистки воды с пропускной способностью до 1000 л/ч.

3. Установка снятия фоторезиста или сеткографических красок рассчитана также на струйную обработку плат размером до 500×500 мм и аналогичными параметрами по производительности (10 м²/ч). Установка также комплектуется дистиллятором с производительностью до 100 л/ч.

Имеется опыт удаления сухих пленочных фоторезистов (типа СПФ-ВЩ) электрохимическим способом путем катодной обработки в слабощелочных растворах или химически в той же среде с иналожением ультразвука частотой 10 кГц.

Для фоторезиста водощелочного проявления типа СПФ-ВЩ имеются линии проявления и удаления. Обе линии конвейерного типа конструктивно аналогичны линиям травления. Линии модульного типа, они komponуются из отдельных узлов, выполняющих операции обработки, промывки и сушки. В составе линий имеется модуль наблюдения для контроля качества выполнения операции.

При работе с сухими пленочными фоторезистами встречаются неполадки, причины которых представлены в табл. 11.

Таблица 11. Основные неполадки при получении защитного рисунка с помощью пленочных фоторезистов

Вид дефекта	Причины дефекта
Складки и вздутия в пленке	Плохая намотка рулона Не отрегулировано натяжение в пленке
Отслаивание пленки с заготовок	Плохая подготовка поверхности заготовок Нарушение режимов нанесения
Механические включения	Загрязненность фоторезиста или воздушной среды помещения
Плохое отделение лавсановой пленки при проявлении	Повышенная температура или увеличенное время при экспонировании
Набухание, приподнятые края, разрушение защитного рисунка	Недостаточное экспонирование Передержка при проявлении Нарушение режимов нанесения
Прилипание фотобласта к пленке при экспонировании	Завышена температура в зоне экспонирования Несоответствие времени выдержки характеристикам ламп

Вид дефекта	Причины дефекта
Фоторезист не удаляется	Избыточная толщина металлического покрытия Загрязненный раствор для удаления Недостаточное давление, под которым подается раствор

15. Сеткография

Материалом для сетчатого трафарета могут служить шелковая сетка, синтетические ткани, металлические сетки. Шелковые сетки легко вытягиваются и склонны к набуханию от воздействия растворителей, поэтому в настоящее время они применяются очень редко. Более устойчивы к истиранию и действию химических реагентов полиамидные и полиэфиновые сетки плотностью от 56 до 180 нитей на 1 см.

Капроновая сетка 49—76 выпускается для трафаретов по ОСТ 1746—71. Металлические сетки (ТУ 14-4-507—74) наиболее прочны, с них легко смываются краски, но они менее эластичны. При выборе сетки необходимо учитывать свойства печатной краски; важно чтобы она хорошо проходила через ячейки сетки не забивая их. Размер ячеек должен быть в 2,5—3 раза больше частиц пигмента.

Сетка должна быть хорошо натянута в раме с помощью механического или пневматического устройства и закреплена клеем БФ-4 или адгезивом 2В. Перед нанесением трафарета сетки обезжириваются: металлические — в 20 %-ном растворе синтанола или (катодное обезжиривание) в щелочном растворе при температуре 25–30 °С. Капроновые сетки обезжириваются венской известью. Получение трафарета осуществляют прямым или косвенным способом.

Прямой способ заключается в нанесении на натянутые сетки фоторезистов типа ФСТ-1 (ТУ 610-028-029) или композиции «Фотосет-ж» (ТУ 6-15-01-138—77) и формировании изображения методом фотопечати. В этом случае ячейки сетки или полностью открыты или закрыты.

Косвенный способ заключается в перенесении рисунка из пленочных материалов на сетку. К таким материалам относятся пигментная бумага (ТУ 29-01-06—70), пленка КПТ-1 (ТУ КФ25—75) или пленка СПФ. Косвенные способы дают более качественное изображение, но тиражестойкость трафарета ниже (до 600 оттисков), и процесс получения трафарета более длителен.

Наиболее перспективным является способ изготовления трафарета с применением фоторезиста «Фотосет-ж». Полученный таким способом рисунок устойчив по отношению к воде, спирту, бутыл-ацетату, уайт-спириту, ацетону. Тиражестойкость трафарета при этом составляет до 4000—5000 оттисков, продолжительность процесса изготовления трафарета — не более 30 мин. Композиция наносится поливом на натянутую сетку, выравнивается ракелем.

На фотобласте во избежание прилипания его к сетке наносят антиадгезионный слой (5 %-ный раствор парафина в уайт-спирите).

Экспонирование изображения производят с помощью ламп ультрафиолетового излучения в течение 3—5 мин при освещенности 3000—3500 лк. Проявление выполняют с помощью ватного тампона, смоченного в этиловом спирте. Разрешающая способность фоторезиста (40 линий на 1 см) способствует получению зазоров между проводниками до 0,2 мм.

Основными преимуществами фоторезиста «Фотосет-ж» являются его способность полимеризоваться в жидком состоянии, возможность использования весьма простого оборудования, а также минимальная затрата времени на подготовку трафарета.

После нанесения изображения участки сетки, свободные от их рисунка, покрываются слоем клея БФ-4. При необходимости ретуширования дефектов рисунка можно использовать нитроэмаль НЦ-25.

Защитные рисунки на платах получают с помощью трафаретных красок, выпускаемых торжковским заводом полиграфических красок и другими предприятиями полиграфической промышленности.

Для негативного процесса применяются спирто-бензостойкие и щелочесмываемые краски: голубая СТЗ. 12—35 (ТУ 29-02-725—77), желтая СТЗ. 12—51 (ТУ 29-02-740—78), синяя СТЗ. 12.2 (ТУ КФ 248—80).

Первые два типа красок сушатся при температуре 60—70 °С в течение 45—55 мин. Краска СТЗ.12.2 разработана для применения в автоматических линиях, где сушка осуществляется воздействием ультрафиолетовых источников света. Продолжительность сушки 10—16 с. Более дешевая краска для негативного процесса — литопонные белила, но она требует более длительного и сложного процесса сушки и туннельных сушилок.

Для позитивного процесса поставляется гальваностойкая краска СТЗ.13 (ТУ 29-02-558—76), рассчитанная на растворы, имеющие величину pH 0,5—8,0. Слой краски толщиной 30 мкм сушится при температуре 50 °С в течение 8 мин, в при температуре 100 °С — 5 мин. Для позитивного процесса можно также применять краску СТЗ.12—51. Для маркировки печатных плат рекомендуется краска СТЗ.19—53 (ТУ КФ 251—80).

При печатании необходимо учитывать следующее. Величина зазора между сеткой и заготовкой должна быть 1—3 мм — для капроновой и 0,8—1,5 мм — для металлической сетки. Угол печатающего ракеля к поверхности трафарета 45—60 °С. Ракель изготавливается из бензостойкой резины или полиуретана. Краска СТЗ.12—51 разбавляется этилцеллозольвом или уайт-спиритом, краска СТЗ.13 — смесью тетралина и бензилового спирта в отношении 4:1, уайт-спиритом или хлористым метиленом. После работы трафаретные формы следует тщательно отмыть от краски смесью уайт-спирита с ацетоном 1:1. Удаление краски СТЗ.12—51 можно производить 5 %-ным раствором едкого натра при температуре 25—35 °С в течение 3 мин. Для уменьшения пенообразования рекомендуется введение в раствор небольшого (2—4 %) количества пеногасителей, например КЭ-10-01 (ТУ 6-02-587—73).

Некоторые из дефектов, встречающиеся при сеткографическом способе получения защитного рельефа, представлены в табл. 12. Технологические процессы подготовки сеткографических станков к работе, изготовления трафаретных печатных форм, подготовки поверхности сеток, получения рисунка на трафаретной печатной раме прямым и косвенным способом представлены в ГОСТ 23727—79.

Оборудование для сеткографической печати делится на основное и вспомогательное. К основному оборудованию относятся автоматы, полуавтоматы или ручные станки для нанесения рисунка схемы на заготовки печатных плат и установка сушки краски на платах.

Из многих конструкций станков наиболее распространенное получил однопозиционный с подвижным столом и неподвижным ракелем полуавтомат ПСПП-901. Его производительность 400 заготовок плат размером 300×400 мм.

В комплекте к полуавтомату ПСПП-901 поставляется терморadiационная установка сушки конвейерного типа. Производительность ее от 100 до 300 заготовок плат в час, температура в зоне сушки от 40 до 100 °С.

Т а б л и ц а 12. Основные дефекты при получении защитного рельефа методом сеткографии

Вид дефекта	Причины дефектов
Непропечатка элементов изображения рисунка схемы на оттиске	Недостаточное количество краски на сетке Недостаточное или излишнее давление на сетку при печати Недостаточная жесткость ракеля Трафарет плохо проявлен Низкая текучесть краски
Смещение рисунка схемы	Чрезмерное давление ракеля на сетку Большая величина зазора между трафаретом и заготовкой
Растекание краски	Низкая вязкость краски Большое давление ракеля
Оттиск прилипает к сетке	Повышенная липкость красок Недостаточный зазор между сеткой и заготовкой
Уменьшение элементов рисунка схемы на оттиске	Рисунок схемы на трафарете недостаточно проявлен Повышенная вязкость красок Большой угол наклона ракеля к трафарету Высокая скорость печатания
Остатки краски на поверхности заготовки	Низкая концентрация раствора щелочи Накопление краски в растворе
Снижение сопротивления изоляции на плате	Недостаточная нейтрализация щелочного раствора, использованного при снятии краски Плохая отмывка плат после снятия краски

К вспомогательному оборудованию относятся установки для натяжения сетки, установки для экспонирования и проявления сетчатых форм, станок для заточки ракелей.

Установка натяжения сетки ПУНС-901 предназначена для равномерного натяжения капроновой или металлической сеток с заданным усилием и приклеивания их к трафаретной форме. На установке выполняются следующие операции: загрузка трафаретной формы, укладка сетчатого полотна и закрепление его в зажимах, увлажнение сетки (капроновой), натяжение сетки, приклеивание сетки, сушка клея (в естественных условиях), обрезка сетки по контуру формы. Проверка идентичности натяжения сетки осуществляется специальным прибором, входящим в комплект установки. Максимальные размеры формы 668 × 648 мм, минимальные — 150 × 100 мм. Способ натяжения сетки пневматический; максимальное движение воздуха, подаваемого в пневмоцилиндры, 0,6 МПа.

Установка экспонирования сетчатых трафаретов УЭСТ-901 рассчитана на экспонирование сетчатых трафаретов с нанесенным фоторезистом «фотосет», ФПП, а также для экспонирования пигментной бумаги. Установка предусматривает возможность экспонирования форм размером до 660 × 640 × 20 мм. Источник света — 11 люминесцентных ламп ЛУФ-80. Прижим фотошаблона к трафарету — вакуумный.

Установка проявления трафаретных форм УПТФ-901 предназначена для выполнения следующих операций: загрузки трафаретной формы в формодержатель, проявления рисунка схемы проявляющим раствором, промывки водопроводной водой, продувки сжатым воздухом, сушки нагретым воздухом. Установка предусматривает проявление форм размером до 600 × 640 мм. Проявляющий раствор (вода, раствор соды или этиловый спирт) подается из форсунок с температурой от 18—20 до 45—65 °С.

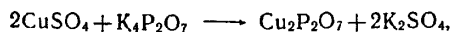
Станок для заточки ракелей осуществляет заточку ракелей из полиуретана абразивным методом шлифования.

V. ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

16. Меднение

Меднение является основным гальваническим процессом в производстве печатных плат; гальваническим меднением получают слой меди в монтажных и переходных отверстиях, а также проводящий рисунок в полуаддитивной технологии [6,7]. Из щелочных электролитов наиболее распространенными в производстве являются пирофосфатные электролиты. Из кислых электролитов известны фторборатные, сульфатные, кремнефторидные электролиты, в которых медь находится в виде солей: $\text{Cu}(\text{BF}_4)_2$, CuSO_4 , CuSiF_6 , и некоторые другие (оксалатный).

Пирофосфатный электролит. Основной компонент электролита — комплексная соль меди — образуется в результате растворения пирофосфата меди в избытке пирофосфата калия по реакции:



Состав (г/л) и режим работы электролита приведены ниже.

Сернистая медь ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	90
Пирофосфат калия ($\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)	350
Лимонная кислота или цитрат калия	20
Аммиак водный (25 %-ный), мл/л	1—2
Селенит натрия (Na_2SeO_3)	0,002
pH	8,3—8,5
Температура электролита, °С	35—50
Катодная плотность тока, А/дм ²	0,8—1,7

Для приготовления электролита раствор сернистой меди приливают небольшими порциями при интенсивном перемешивании к нагретому раствору пирофосфата натрия. Раствор при этом приобретает интенсивную синюю окраску. Затем в полученный раствор вводят поочередно лимонную кислоту и остальные компоненты. Разряд меди происходит из комплексного аниона, в результате чего этот процесс сопровождается значительной катодной поляризацией, обуславливающей мелкозернистую структуру покрытия и хорошие механические свойства осадка меди. В производстве печатных плат пирофосфатный электролит имеет следующие преимущества: высокую рассеивающую способность, обеспечивающую получение слоя меди в отверстиях 80—90 % от толщины слоя меди на проводниках при отношении толщины платы к диаметру отверстия 2 : 1; хорошую эластичность меди при отсутствии органических примесей и примесей фосфатов; возможность ведения процесса при непрерывной фильтрации через уголь из-за отсутствия органических добавок.

В то же время указанный электролит обладает рядом недостатков.

1. Накопление фосфатов вследствие гидролиза пирофосфата. Накопление фосфатов обуславливает включение фосфора в осадок меди, достигающее до 0,5 % по массе. Фосфор в меди приводит к затруднениям при пайке и хрупкости осадка.

2. Охлаждение электролита влечет за собой кристаллизацию солей на анодах и стенках ванны и возникновение при работе так называемой солевой пассивности анодов.

3. Малая скорость осаждения меди вследствие низких плотностей тока.

4. Большая чувствительность к примесям железа, свинца, хлора и органических продуктов.

5. Невозможность использования более перспективных фоторезистов водосолеочного проявления (СПФ-ВЩ).

Из числв электролитов, в которых медь находится в виде комплексного соединения, заслуживает внимания оксалатный электролит, обеспечивающий очень высокую рассеивающую способность и мелкозернистую структуру электролитического осадка, следующего состава (г/л) и режима работы:

Сернистая медь ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	25
Щавелевокислый аммоний	50
Щавелевая кислота	10
pH	3,5—4,5
Катодная плотность тока i_k , А/дм ²	1,0—2,0

Фторборатный электролит. Состав фторборатных электролитов приведен в табл. 13.

Таблица 13. Состав фторборатных электролитов

Компоненты и режим работы	Концентрация, г/л	
	Для «затяжки» химической меди	Для металлизации
Фторборатная медь	60—70	230—250
Борфтористоводородная кислота	150—160	5—15
Борная кислота	15—20	15—40
Катодная плотность тока, А/дм ²	1—2	До 5
Температура электролита, °С	15—20	15—20

Преимуществом фторборатного электролита по сравнению с другими электролитами является наиболее высокая скорость осаждения меди вследствие применения повышенных плотностей тока, недостатки электролита — низкая рассеивающая способность (толщина покрытия в отверстиях при тех же условиях составляет 40—50 % от толщины меди на проводниках) и неэластичность осадков меди (относительное удлинение $\varepsilon = 2 \pm 3\%$). Хрупкость меди резко возрастает при попадании органических примесей и особенно продуктов выщелачивания пленочных фоторезистов.

Фторборат меди готовится в ванне посредством растворения основной углекислой соли меди в борфтористоводородной кислоте по реакции



Расчетное количество основной углекислой меди засыпается в ванну и в нее небольшими порциями вливается борфтористоводородная кислота до прекращения выделения углекислого газа. В полученный раствор вводится оставшаяся борфтористоводородная кислота и приготовленный в отдельной порции раствор борной кислоты.

Электролит после отстаивания декантируется в рабочую ванну и долиняется до уровня дистиллированной водой.

Кремнефторидный электролит. Кислота поставляется химической промышленностью по ТУ 6-09-2774—73 и является более дешевым продуктом, чем борфтористоводородная кислота. Электролит состоит из 10—15 г/л кремнефтористоводородной кислоты и 250—300 г/л кремнефторида меди. Температура электролита — 18—25 °С, катодная плотность тока 5 А/дм².

Кремнефторидный электролит меднения по своим свойствам, преимуществам и недостаткам аналогичен фторборатному электролиту.

Сульфатный электролит. Эти электролиты наиболее просты в приготовлении и эксплуатации. Однако стандартный электролит, содержащий сернокислую медь (200—250 г/л) и серную кислоту (50—75 г/л), не получил распространения из-за плохой рассеивающей способности и малой производительности, так как осаждение меди происходит при плотности тока менее 2 А/дм². Введение в состав электролитов разработанной Ленинградским Технологическим институтом им. Ленсовета блескообразующей добавки «ЛТИ» позволило значительно улучшить характеристики сульфатных электролитов, что послужило основанием для широкого распространения их в промышленности. Аналогичные по составу электролиты с фирменными

добавками «Купрацид», «Новостар», «Кубас-1» и др., а также электролиты с добавкой «Меданит», или В-7211 заслужили хорошую репутацию у изготовителей печатных плат, так как они обеспечивают очень равномерное распределение меди на плате. Состав сульфатных электролитов приведен в табл. 14.

Электролит 1 рекомендуется для металлизации печатных плат, имеющих отношение толщины платы к диаметру металлизированных отверстий 2,5 и менее. Электролит характеризуется малой агрессивностью к фоторезистам, обеспечивает хорошую эластичность меди и мелкозернистую структуру.

Пониженная плотность тока обуславливает его более низкую производительность по сравнению с другими электролитами. Электролит рекомендован ГОСТ 23770—79.

Электролит 2 обеспечивает более высокую производительность по сравнению с электролитом 1 и хорошую рассеивающую способность. Осадки меди блестящие, гладкие и весьма эластичные. Электро-

Таблица 14. Состав и режим работы сульфатных электролитов

Компоненты (г/л) и режим работы	Номер раствора			
	1	2	3	4
Сернокислая медь (CuSO ₄ · 5H ₂ O)	220—230	200—230	60—80	70
Серная кислота	50—60	50—60	150—160	170
Этиловый спирт, мл/л	10	—	—	—
Хлористый натрий	—	0,03—0,06	0,03—0,06	0,03
Блескообразующая добавка «ЛТИ», мл/л	—	3—4	1—2	—
Добавка «Меданит» (В-7211), мл/л	—	—	—	2—3
Температура электролита, °С	18—25	18—25	18—25	18—25
Катодная плотность тока, А/дм ²	1—2	3—5	3—5	3—5

лит также рекомендуется для металлизации плат, имеющих отношение толщины плат к диаметру отверстий 2,5 и менее. Добавка «ЛТИ» поставляется по ТУ АУЭО. 028.010.

Электролит 3 характеризуется более высоким содержанием серной кислоты при уменьшенной концентрации сернокислой меди. Это обстоятельство при наличии высокоэффективной добавки ПАВ обуславливает наиболее высокую рассеивающую способность среди кислых электролитов, которая приближается к рассеивающей способности пирофосфатных электролитов. Осадки меди гладкие, блестящие.

Электролит 4, в состав которого введена блескообразующая добавка «Меданит», поставляемая Болгарской Народной Республикой, для использования ее в процессах декоративной металлизации пластмасс при получении блестящих осадков меди обладает высокой производительностью и обеспечивает получение очень гладких медных покрытий с достаточно хорошей рассеивающей способностью.

Сравнительная оценка свойств некоторых электролитов по способности улучшать равномерность распределения металла по толщине как в отверстиях, так и на проводниках при гальваническом меднении

плат представлена в табл. 15, где приняты следующие обозначения: Δ — толщина платы, мм; d — диаметр отверстия, мм; $\delta_{отв}$ — толщина слоя меди в отверстиях, мкм; $\delta_{пр}$ — толщина слоя меди на проводнике, мкм.

Таблица 15. Характер распределения меди на печатной плате

Тип электролита	Δ/d	d , мм	$\delta_{отв}/\delta_{пр}$
Фторборатный	3	0,8	0,5
	4	0,6	0,4
Сульфатный (электролит 3)	3	0,8	0,86
	4	0,6	0,83
Пирофосфатный	4	0,6	0,86
Сульфатный с добавкой Б-7211 (электролит 4)	3	0,8	0,74
	4	0,6	0,67

Повышенная рассеивающая способность электролита с добавкой «ЛТИ» (электролит 3) имеет очень важное значение для производства, так как применение этого электролита позволяет уменьшить продолжительность процесса меднения на 50—60 % и соответственно сократить расход меди. При использовании фторборатных или кремнефторидных электролитов, обладающих низкой рассеивающей способностью, на проводниках и особенно на удаленных, осаждается весьма толстый (70—100 мм) слой меди с неровной поверхностью, что препятствует получению качественной влагозащиты при лакировке блоков на печатном монтаже из-за стекания лака с шишковатых наростов меди на кромках проводников.

Чрезвычайно важное значение имеет эластичность осаждаемого слоя меди, так как в условиях эксплуатации платы подвергаются значительному нагреву и происходит тепловое расширение материала, из которого изготовлена плата, и слоя меди. Коэффициент линейного расширения эпоксидной смолы почти в 5 раз больше коэффициента линейного расширения меди ($\alpha_1 = 9,2 \cdot 10^{-5}$ мм/мм °C и $\alpha_2 = 1,77 \times 10^{-5}$ мм/мм °C), поэтому в результате термоударов в слое меди, осажденном на стенках отверстий, возникают значительные напряжения и, если медь недостаточно эластична, происходит ее разрыв, а разрыв меди в переходном отверстии приводит к выходу из строя всего блока.

Расчеты показывают, что на многослойной плате толщиной 2 мм удлинение по оси z при пайке на волне припоя при температуре $t = 250$ °C составляет: для диэлектрика — 0,048 мм; для меди — 0,009 мм. В этом случае слой должен «вытянуться» почти на 40 мкм и, если относительное удлинение меди менее 3 %, неизбежен ее разрыв.

Учитывая вышесказанное, необходимо обращать большое внимание на эластичность осаждаемой меди, которая с учетом жесточайших эксплуатационных требований к печатным платам, должна составлять по величине относительного удлинения не менее 6 %. Испытаниями качества медных осадков, полученных из различных

электролитов, установлено, что в свежих электролитах величина относительного удлинения меди составляет: для электролита 3 — 9—11 %, для электролита 4 — 3—4 % и для фторборатного электролита — 3—5,5 %.

В результате накопления в электролитах органических примесей, вследствие агрессивного воздействия электролитов на фоторезисты, краски и диэлектрические материалы платы эластичность меди значительно снижается, причем в фторборатных электролитах, как более агрессивных, это явление происходит быстрее. Попадание в электролиты органических примесей обуславливает не только снижение эластичности меди, но ухудшение электропроводности. Так, чистая медь имеет удельное электрическое сопротивление 0,020 Ом·мм, а для меди, осажденной в электролитах 2—4, эта величина составляет — 0,026 Ом·мм и по мере накопления органических примесей она возрастает на 25—30 %.

Сопоставляя свойства меди, осажденной из различных электролитов, а также оценивая свойства электролитов, легко сделать вывод о том, что сульфатный электролит меднения (электролит 3), содержащий выравнивающую (блескообразующую) добавку «ЛТИ», наиболее перспективен, так как он обеспечивает получение эластичных осадков меди с высокой равномерностью и скоростью осаждения. Компоненты электролита доступны и дешевы. Электролит весьма удобен в эксплуатации, так как он не требует нагрева, легко приготавливается и корректируется. Аноды хорошо растворяются и этим поддерживается стабильная концентрация солей меди в электролите. В качестве анодов для данного электролита рекомендованы медно-фосфористые аноды марки АМФ, содержащие до 0,06 % фосфора. Такие аноды растворяются более равномерно, без шламообразования.

Приготовление и корректирование сульфатного электролита с добавкой «ЛТИ» производится следующим образом. Ванны заполняются дистиллированной водой на 1/2 или 2/3 объема. В воду, осторожно, при непрерывном помешивании, вводится серная кислота, раствор при этом нагревается до температуры 50—60 °C. В горячий раствор вводится медный купорос и при непрерывном помешивании и подогреве он полностью растворяется. Затем ванна доливается до уровня дистиллированной или деионизованной водой. Для обеспечения достаточной чистоты приготавливаемого электролита в полученный раствор вводится активированный уголь из расчета 2—3 г/л, смесь хорошо перемешивается и через 30—60 мин фильтруется в рабочую ванну.

Перед введением добавки «ЛТИ» раствор анализируется на содержание хлора и в зависимости от концентрации хлор-иона в растворе добавляется хлористый натрий, а если хлоридов оказалось выше нормы (0,06 г/л), излишек осаждается водной суспензией сернокислого серебра. В последнюю очередь вводится блескообразующая (выравнивающая) добавка «ЛТИ». После приготовления электролита фильтры насоса должны быть тщательно очищены от частиц угля, так как их присутствие в порах фильтра даже в небольших количествах повлечет за собой потерю добавки «ЛТИ» вследствие ее адсорбции активированным углем.

В состав добавки «ЛТИ» входят основной продукт (50 г), смачиватель ОС-20 (100 г), вода (400 г). Корректирование электролита осуществляется выделением компонентов. Основные компоненты

электролита — медь сернокислая, кислота серная и хлориды — добавляются в электролит на основании данных химического анализа, который производится не менее 2 раз в месяц при интенсивной работе ванны. Корректирование по органическим добавкам выполняется после прохождения через ванну определенного количества электричества. Так, после прохождения 18 кКл/л электричества вводится продукт ОС-20 в количестве 1 мл/л в виде заранее приготовленного раствора, содержащего 100 г/л этого продукта. После прохождения 72 кКл/л вводится 1 мл/л раствора основного компонента добавки «ЛТИ». Накопление органических примесей приводит к образованию блестящих полос и хрупкости медного покрытия, что выражается в резком снижении величины относительного удлинения ϵ .

При снижении величины ϵ до значений менее 6 % необходимо освободить электролит от органических примесей введением в электролит активированного угля БАУ в количестве 10 г/л. После тщательного перемешивания и выдержки не менее 7 ч электролит фильтруется и в него вводится добавка «ЛТИ» в количестве, соответствующем рецептурному.

Основные неполадки, встречающиеся при эксплуатации кислых электролитов, и возможные причины их появления представлены в табл. 16.

Таблица 16. Основные неполадки при меднении в кислых электролитах

Характер неполадок	Возможные причины
Грубая крупнокристаллическая структура осадков Темные шероховатые осадки	Высокая плотность тока, недостаток кислоты по отношению к содержанию меди Включение в осадок механических примесей или закиси меди при недостатке кислоты
Светлые (блестящие) полосы Пассивирование анодов Скорость осаждения покрытия меньше расчетной	Загрязнение органическими веществами Недостаток кислоты (H_2SO_4 или HBF_4) Снижение выхода по току из-за накопления железа (Fe^{3+})
Плохое качество металлизации в отверстиях плат	Недостаточная скорость покачивания плат при осаждении меди
Растворение меди с проводников на одной стороне заготовки	Отсутствие контакта платы с подвеской и растворение меди вследствие биполярного эффекта
Хрупкость медных осадков	Накопление в электролите органических примесей
Отслаивание электроосажденной меди от фольговой меди	Наличие окисных разделительных слоев на фольге или неударенного слоя химически осажденной меди
Темно-серый «подгар» осадков из электролита с добавкой «ЛТИ»	Недостаток хлоридов

Определение эластичности медных осадков производят следующим образом. На пластинку из коррозионно-стойкой стали методом фотопечати наносят защитный рисунок таким образом, чтобы последующим гальваническим меднением открытых участков поверхности

можно было получить образец для разрыва, форма и размеры которого показаны на рис. 9.

Пластинку с нанесенным на ее поверхность рисунком следует обезжирить венской известью, промыть водой, активировать в 10 %-ном растворе HCl , промыть водой и вторично активировать в 10 %-ном растворе HBF_4 . После тщательной промывки пластинка завешивается в ванну меднения вместе с платами и покрывается по режимам, принятым для плат. Пластинку с осажденной медью высушить сжатым воздухом и снять медь с помощью скальпеля. Толщина медного образца должна составлять 30—40 мкм. На образце с помощью тонкой иглы без нажима наносятся риски, ограничивающие базу длиной $l_0 = 30 \pm 1$ мм.

Измерение базы до и после испытания на разрыв следует производить с точностью $\pm 0,01$ мм на универсальном измерительном микроскопе УИМ. Разрыв образцов рекомендуется производить на разрывной машине типа МР-05-1 при нагрузке до 10 Н. После разрыва обе половинки образца прижать к стеклу и по средней линии измерить расстояние от линии разрыва до рисок. Сумма двух измерений составит величину l_k . Относительное удлинение рассчитать по формуле

$$\epsilon = (l_k - l_0) 100 / l_0 \%$$

Для получения более достоверных результатов производят несколько испытаний и величину ϵ определяют как среднеарифметическую. При проведении испытаний следует иметь в виду, что в свежесосажденном слое меди имеются внутренние напряжения и медь обладает малой эластичностью; через двое суток в результате рекристаллизации внутренние напряжения исчезают и устанавливается стабильное значение ϵ .

Перемешивание электролита барботированием сжатым воздухом или механическими мешалками не достигает эффекта, так как в зону отверстий диаметром 0,6—0,8 мм не обеспечивается подача свежего электролита и в результате этого осаждение меди на стенки отверстий происходит из сильно истощенного электролита в условиях предельного тока. Лучшие результаты достигаются в том случае, когда платы, жестко закрепленные на катодной штанге, совершают в электролите возвратно-поступательные движения, что обеспечивает хороший обмен электролита в отверстиях.

Хороший контакт платы с подвесочным приспособлением и подвесочного приспособления с катодной штангой необходим для того, чтобы на всех платах осаждалось равное количество меди. При отсутствии контакта может произойти полное или частичное растворение меди, осевшей в начальный период электролиза. Это явление, называемое биполярным эффектом, происходит из-за того, что медненная поверхность платы, не будучи поляризована катодно, ста-

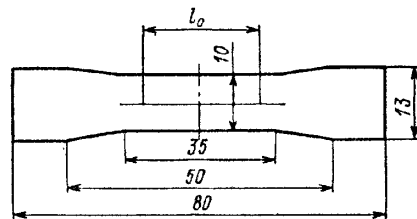


Рис. 9. Образец для разрыва медного покрытия

новится анодом по отношению к соседним платам, имеющим хороший контакт с катодной штангой. Для обеспечения хорошего жесткого контакта всех плат с подвесочными приспособлениями необходимо, чтобы платы присоединялись с помощью резьбового соединения или пружинящего контакта.

Длина подвесочного приспособления должна выбираться таким образом, чтобы самая нижняя плата была на уровне и даже несколько выше нижней кромки анодов, в противном случае происходит значительная концентрация тока на нижних платах и в результате образуется «подгорелый» слой меди.

При загрузке вани платами их следует компоновать таким образом, чтобы стороны, обращенные к каждой анодной штанге, имели бы приблизительно одинаковую поверхность, подлежащую медиению. Это обеспечивает получение более равномерных по толщине покрытий на обеих сторонах платы.

17. Защитное покрытие сплавом олово—свинец (ПОС-60)

Защитные покрытия проводящего рисунка на платах должны выполнять в основном две функции: защиту проводников при вытравливании меди, т. е. роль металлорезиста, и пайку выводов радиоэлементов [6, 9].

В качестве металлорезиста могут быть использованы различные сплавы олова, серебра, золота, однако при пайке на волне расплавленного припоя хорошую растекаемость припоя с применением каннфольных флюсов обеспечивает только сплав олово—свинец, соответствующий эвтектическому сплаву ПОС-60.

Другие сплавы олова и чистое олово для покрытия печатных плат непригодны не только из-за быстрой потери способности к пайке на волне припоя, но и вследствие склонности покрытий к иглообразованию после длительного хранения и практической невозможности их оплавления.

Особую ненадежность плат при длительном хранении и монтажно-сборочных операциях создает введенное в практику некоторых предприятий покрытие олово—кобальт и олово—висмут с содержанием легирующих присадок в количестве 0,005—0,05 %. В условиях серийного производства эти присадки исчезают из покрытия и на проводниках получается по существу покрытие из чистого олова, которое, как хорошо известно, быстро теряет способность к пайке, подвержено разрушению при низких температурах и росту очень прочных, пронизывающих любые материалы игольчатых кристаллов («вискеры», «усы»). Даже при наличии указанных присадок на отдельных предприятиях, применявших покрытие олово—кобальт и олово—висмут, имели место случаи иглообразования, а плохая способность к пайке вынудила предприятие применить дополнительное лужение сплавом Розе, что ведет к чрезвычайно нерациональному расходу олова и других ценных металлов (висмут). Серебро, применявшееся для этой же цели на отдельных предприятиях, в настоящее время исключено из производственной практики как драгоценный металл и как металл, способный к миграции в диэлектрик, что приводит к снижению электроизоляционных свойств печатных плат.

Олово легко образует электролитические сплавы со свинцом, в которых соотношение олова и свинца зависит от состава электролита и режимов электроосаждения.

Концентрация солей олова и свинца в электролите определяет и соотношение металлов в осадке, однако при одном и том же составе электролита имеет место значительный разброс в составе сплава в зависимости от содержания поверхностно-активных веществ. Так, например, при снижении содержания олова в сплаве в электролит добавляют столярный клей, вследствие чего возрастает содержание олова. Это явление обусловлено тем, что некоторые поверхностно-активные вещества, увеличивая катодную поляризацию более электроположительного металла, т. е. свинца, снижают скорость его осаждения по сравнению с осаждением олова, в результате чего увеличивается содержание олова в сплаве. Это имеет большое значение при нанесении покрытия на печатные платы, так как условия осаждения сплава олово—свинец в отверстия и на проводнике значительно отличаются. Вследствие большого различия в плотности тока сплав олово—свинец на проводнике более богат оловом, чем сплав в отверстиях. В результате этого смачиваемость припоем стенок отверстий и контактных площадок различна, что отрицательно влияет на качество пайки, осуществляемой на волне припоя. С целью обеспечения хорошей растекаемости припоя следует применять также электролиты, которые позволяют получать одинаковый по составу сплав в большом диапазоне рабочей плотности тока. Стабильный по всей плате состав сплава необходим также и для того, чтобы обеспечить качественное выполнение операции оплавления.

В производстве печатных плат получили распространение фторборатные электролиты, обеспечивающие осаждение сплава, содержащего 60 % олова. Состав приведен в табл. 17.

Таблица 17. Электролиты для получения олово-свинцового покрытия

Компоненты и режим работы	Номер раствора	
	1	2
Фторборат олова (в пересчете на металл)	50—60	14—18
Фторборат свинца (в пересчете на металл)	25—40	7—9
Борфтористоводородная кислота (свободная)	40—75	250—280
Борная кислота	25—30	20—30
Пептон или мездровый клей	3—5	4—6
Гидрохинон	1,0	0,8—1,0
Температура, °С	18—25	18—25
Катодная плотность тока, А/дм ²	1—2	1—2

Скорость осаждения сплава при плотности тока 2 А/дм² — 1 мкм/мин.

Электролит 1 (ГОСТ 23770—79) широко применяется в гальванотехнике для покрытия металлических деталей. Неоднородность состава сплава на отдельных участках печатных плат колеблется в пределах 40—60 % по олову, поэтому сплав плохо оплавливается и при монтажно-сборочных операциях возникает необходимость горячего облуживания плат припоем ПОС-60.

Электролит 2 рекомендован отраслевой нормативно-технической документацией для покрытия печатных плат. Значительное увеличение содержания борфтористоводородной кислоты по отношению к солям олова и свинца обеспечивает достаточно однородный состав сплава

при различных плотностях тока в пределах 0,5—2,0 А/дм². Однако повышенное содержание НВF₄ обуславливает более агрессивное воздействие электролита на фоторезисты, а фоторезист на основе поливинилпиридина слабо устойчив в нем, что приводит к так называемым пробоям в процессе нанесения гальванического покрытия. Корректирование электролита по основным компонентам производится по данным химического анализа не реже двух раз в месяц; корректирование электролита по добавочным компонентам (нейтон, клей и др.) — на основе данных табл. 17, определяющей причины тех или иных неполадок, связанных с присутствием ПАВ.

По мере накопления органических примесей производится периодическая очистка электролита от них посредством обработки активированным углем с последующей фильтрацией. В результате подобной обработки теряются органические добавки, введенные в электролит при его приготовлении, поэтому необходимо эти добавки вводить в полном объеме в соответствии с заданным составом (табл. 18).

С целью замены дорогостоящей борфтористоводородной кислоты на более дешевый материал на ряде предприятий применяют кремнефторидные электролиты, полученные на основе кремнефтористого

Таблица 18. Основные неполадки при покрытии сплавом олово—свинец

Характер неполадок	Возможные причины
Ухудшение способности к пайке	Изменение состава сплава; накопление в электролите меди более 0,05 г/л
Шероховатость покрытия («набросы»)	Накопление механических примесей
Осаждение «подгорелых» покрытий, склонность к дендритообразованию	Пониженное содержание НВF ₄ ; недостаток клея или другого ПАВ
Плохая рассеивающая способность	Недостаток свободной НВF ₄ , недостаток выравнивающих добавок
Недостаточное количество олова в сплаве	Пониженное содержание олова в электролите, недостаток клея или другого аналогичного ПАВ, избыточное количество свинца в электролите, интенсивное перемешивание, пониженная катодная плотность тока
Полосчатость покрытия	Накопление органических примесей вследствие выщелачивания фоторезистов или попадания масел с механизмов, обслуживающих ванны

водородной кислоты Н₂SiF₆, являющейся отходом производства фосфорнокислых удобрений и поэтому более дешевой и доступной.

Состав электролита (г/л)

Кремнефторид свинца	17—25
Кремнефторид олова	50—80
Кремнефтористая кислота (свободная)	40—60
α-нафтол	0,2
Тиомочевина	12—13
Желатина	2

Температура электролита — 18—25 °С, катодная плотность тока для получения сплава, содержащего 60 % олова, должна составлять 1,3—1,5 А/дм². При отклонениях плотности тока от этих значений состав сплава изменяется в соответствии с законами электрохимии.

Для электроосаждения сплава олово—свинец с содержанием олова 60±5 % институтом неорганической химии АН Латв. ССР разработан электролит следующего состава (г/л) [6]:

Олово (в пересчете на металл)	35—40
Свинец (в пересчете на металл)	20—25
Пирофосфат калия, свободный	130—250
Солянокислый гидразин	8—12
Добавка ДДДМ	1,0
Гидролизованный клей	1,5

Величина pH 8,3—8,9, температура электролита 18—28 °С, катодная плотность тока 2—4 А/дм².

Солянокислый гидразин стабилизирует содержание Sn²⁺, предотвращая его окисление до четырехвалентного состояния.

Добавка ДДДМ представляет собой соединение: 4,4 диамино 3,3 диметоксидифенилметан и в сочетании с клеем обуславливает постоянство содержания олова в сплаве в рабочем интервале плотностей тока.

Основным преимуществом пирофосфатного электролита является его меньшая агрессивность по отношению к фоторезисту, чем у фторборатного электролита, поэтому в нем меньше накапливается продуктов разложения, которые включаясь в покрытие, ухудшают его качество.

Для обеспечения постоянства состава сплава, а также стабильности его физико-химических свойств необходимо руководствоваться следующими рекомендациями.

1. Перемешивание электролита осуществляют медленным покачиванием плат в процессе электролиза (период качания 1—2 с). Более интенсивное покачивание вызывает снижение катодной поляризации свинца и его увеличение в составе сплава.

2. Во избежание заноса в электролит сульфат-иона перед нанесением покрытия операцию активирования проводят в 10 %-ном растворе борфтористоводородной кислоты и без промывки переносят платы в ванну для покрытия сплавом.

3. Аноды из сплава олово—свинец с 60 %-ным содержанием олова и 40 %-ным — свинца применяют в виде металла, поставляемого по ТУ 48-13-20—77.

В том случае, если они готовятся на месте сплавления свинца и олова, следует следить за тем, чтобы в этих металлах примеси меди, висмута, сурьмы, мышьяка и железа не превышали 0,003 % от каждого вида примесей.

4. С целью исключения возможности накопления меди в электролите необходимо не допускать падения плат на дно ванны и не поднимать уровень электролита в ванне выше крючков, на которых висят аноды.

Удаление сплава олово—свинец с разъемов печатных плат производят химическим растворением покрытия в одном из следующих

растворов: раствор 1 — борфтористоводородная кислота (330 мл), пергидроль (70 мл), вода (до 1 л). Температура раствора 18—25 °С. Продолжительность обработки 3—5 мин; раствор 2 — азотная кислота (400—500 мл/л), фторборатная медь (5—10 г/л), препарат ОС-20 (2—5 г/л). Температура раствора 18—25 °С, скорость растворения 3—4 мкм/мин.

18. Покрытия разъемов печатных плат

Разъемы печатных плат, или конечные контакты, служат для электрического соединения блоков на печатных платах между собой с помощью соединительных колодок.

Для обеспечения хорошего электрического соединения между пружинками колодки и проводниковыми полосками разъема необходимо покрытие, обладающее малым переходным сопротивлением, хорошей износостойкостью и отсутствием каких-либо пленок, ухудшающих контактные свойства.

Золото. Всем требованиям, предъявляемым к контактным покрытиям, в наибольшей степени удовлетворяет покрытие из сплава золото—никель или золото—кобальт с содержанием легирующего элемента до 0,6 % (твердое золото) [2]. Толщина слоя золота — 2,5 мкм. Другие металлы, как показано ниже, уступают этому покрытию по различным причинам.

Палладий. Обладает хорошей износостойкостью и более низкой стоимостью, однако на его поверхности вследствие каталитических свойств палладия со временем образуются полимерные пленки из органических продуктов, находящихся в воздухе. Из-за образования пленок нарушается контакт. Для покрытия разъемов палладий можно применять в условиях хорошо вентилируемой аппаратуры. Толщина слоя палладия 2,5—6 мкм.

Родий. Имеет наибольшую износостойкость и твердость, но естественные окисные пленки и склонность к образованию полимерных пленок ухудшают его контактные свойства. Родий является самым дорогим из группы драгоценных металлов и с учетом всех его свойств рекомендуется для покрытия контактов переключателей и кодовых дисков, рассчитанных на миллионы переключений при высоких контактных давлениях. Толщина слоя родия определяется требованиями к условиям контактирования.

Серебро. Это наиболее дешевый из металлов, применяемых для контактов, обладает самой высокой электропроводностью, однако быстро темнеет в результате воздействия серосодержащих продуктов, обладает плохой износостойкостью и легко корродирует. Серебряное покрытие рекомендуется для малоответственных систем, когда контактная пара эксплуатируется в легких условиях при отсутствии сернистых соединений в воздухе. Толщина слоя серебра 6—15 мкм.

Никель. Применяется в качестве подслоя перед золочением с целью повышения износостойкости слоя золота за счет повышения твердости подложки. Подслой никеля улучшает также коррозионную устойчивость покрытия, исключая возможность окисления меди через поры золотого покрытия. Кроме того, подслоя никеля препятствует диффузии меди в золотое покрытие и обеспечивает этим постоянство величины переходного сопротивления в процессе длительной эксплуатации и хранения золоченых контактов. Толщина никелевого подслоя 6—9 мкм.

Состав (г/л) и режим работы электролита золочения следующие:

Дицианаурат калия (в пересчете на золото)	8—10
Лимонная кислота	30—40
Лимоннокислый калий трехзамещенный	30—40
Сернокислый никель или кобальт	1—2
Температура, °С	35—45
Катодная плотность тока, А/дм ²	0,4—0,7
Выход по току, %	95—98

Аноды изготовлены из платинированного титана. Электролит периодически продувается азотом для вытеснения растворенного кислорода, который восстанавливаясь на катоде, снижает выход по току.

Скорость осаждения золота 1 мкм за 7 мин. В течение первых 5—10 с работы рекомендуется плотность тока 1—1,5 А/дм².

Состав и режим работы электролитов серебрения представлены ниже.

	Электролит 1	Электролит 2
Азотнокислое серебро (в пересчете на металл)	40—50	—
Дицианаргентат калия (в пересчете на металл)	—	40—50
Железосинеродистый калий	100—130	—
Роданистый калий	120—150	200—250
Углекислый калий	50—60	20—30
Температура, °С	18—25	18—25
Катодная плотность тока, А/дм ²	0,5—1,0	0,5—1,0
pH	10	9,5—10

Электролит 1 и 2 идентичны по составу и отличаются способами приготовления. В электролите 1 дицианаргентат (в малых количествах) образуется при реакции взаимодействия солей серебра с железосинеродистым калием. В электролите 2 дицианаргентат применяется в виде готового продукта, поставляемого по ТУ 609-451—70.

Состав (г/л) и режим работы электролита палладиования следующие:

Хлористый палладий	18—25
Хлористый аммоний	15—20
Аммиак водный, 25 %-ный, мл/л	2—5
Малениновый ангидрид	0,15
Температура, °С	18—25
Катодная плотность тока, А/дм ²	0,8—1,0
pH	8,5—9,5

Скорость осаждения равна 1 мкм за 4 мин при $i_k = 1$ А/дм². Аноды нерастворимые: платинированный титан, палладий. Последний частично растворяется и расход палладиевых анодов (до 10 %) необходимо учитывать в нормативах на соль палладия.

Химические покрытия. Химические (бестоковые) покрытия применяются в тех случаях, когда на проводящий рисунок очень трудно наносить гальванические покрытия вследствие того, что проводники разрознены и не замкнуты в одну электрическую цепь.

Подобная проблема возникает, например, при изготовлении плат по аддитивному методу, когда проводники получают химическим осаждением меди и гальванические операции исключаются из технологического процесса.

В качестве бестокового покрытия получил применение процесс химического оловянирования и осаждение слоя олова, легированного кадмием.

Процессы осаждения чистого олова осуществляются погружением печатных плат в раствор состава (г/л):

Хлористое олово	10—20
Тиомочевина	80—90
Соляная кислота ($\gamma=1190 \text{ кг/м}^3$), мл/л	15—17
Хлористый натрий	75—90

Температура раствора 55—56°C, продолжительность операции 25—30 мин, толщина осаждаемого слоя олова до 2,5 мкм.

Процесс осаждения олова, легированного кадмием, происходит в растворе следующего состава (г/л):

Хлористое олово	8
Хлористый кадмий	6
Серная кислота	40
Тиомочевина	45

Температура раствора 18—25°C, продолжительность операции 20—30 мин, толщина слоя покрытия составляет 2—3 мкм.

В обоих случаях растворы служат для покрытия 50 дм² поверхности в 1 л раствора, после чего заменяются свежими. В отработанных растворах оставшееся неизрасходованное олово осаждается щелочью в виде гидроокисей и после отмывки его можно повторно использовать для приготовления свежих порций раствора.

Химически осажденные покрытия оловом и сплавом олово—кадмий обеспечивают хорошее растекание припоя при пайке радиоэлементов на волне припоя, сохраняя эту способность значительно дольше, чем гальванически осажденное олово и на таких тонких покрытиях еще не было замечено случаев образования нитевидных кристаллов («усов») при длительном хранении.

19. Осветление и оплавление покрытия олово—свинец

Осветление покрытия. В результате применения щелочных растворов травления оловянно-свинцовое покрытие частично растворяется в этих растворах и образующиеся продукты растворения в виде темного шлама обволакивают поверхность покрытия и препятствуют выполнению последующих операций (оплавление или пайка выводов электрорадиоэлементов). Для удаления травильного шлама с поверхности покрытия платы погружают в так называемый осветляющий раствор состава: тиомочевина — 80—85 г/л; соляная кислота (1,19) — 50—60 мл/л; этиловый спирт или синтанол ДС-10 — 5—6 мл/л; продукт ОС-20 — 8—10 мл/л. Температура раствора 18—25°C, продолжительность обработки 1—1,5 мин.

Раствор готовят следующим образом. Ванну (1/5 объема) заполняют водой и вливают в нее соляную кислоту. Затем отдельно растворяют тиомочевину и вливают полученный раствор в ванну.

К смеси приливают спирт и продукт ОС-20, после чего доливают ванну водой до уровня.

С целью снижения стоимости расходуемых материалов можно применять технические продукты: тиомочевину по ТУ 6-09-4041—75; этиловый спирт.

Операцию осветления можно проводить в растворах, отличающихся по составу от вышеприведенного.

Так, например, фторборатный раствор состава: борфтористоводородная кислота — 100 мл, тиомочевина — 100 г, смачиватель ОП-7 — 10 мл, вода — до 1 л осветляет покрытие при температуре 50—60°C в течение 1—2 мин.

Оплавление покрытия. Гальваническое покрытие олово—свинец типа ПОС-60 представляет собой эвтектический сплав, температура плавления которого 183°C. Покрытие поэтому легко расплавляется и в жидком виде стекает с поверхности проводников на их боковые стенки, как показано на рис. 10. Оплавление покрытия — несложная операция, но она обеспечивает получение ряда преимуществ, поэтому применяется в производстве более ответственных по назначению плат. Оплавление покрытия преследует следующие цели: превратить губчатую и склонную к коррозии поверхность в гладкую блестящую; защитить боковые стенки проводников от коррозии и электрокоррозии в случае, если два соседних проводника в условиях эксплуатации разнополярны; улучшить способность к пайке после длительного (более 1 г) хранения; устранить «навесы» металла по кромкам проводников; исключить возможность роста нитевидных кристаллов («усов») в условиях длительного хранения и эксплуатации; снизить на 15—20°C температуру расплавленного припоя при пайке на волне; исключить из технологического процесса операцию горячего облуживания; контролировать качество проводящего рисунка, так как операция оплавления является достаточно жестким испытанием для плат.

Оплавление осуществляют погружением в жидкий теплоноситель или воздействием инфракрасного излучения. В первом случае в качестве теплоносителя применяют жидкосты, обладающие устойчивостью при температурах 220—240°C, и негорючие — при этих же условиях. Такими жидкостями являются Лапрол (ТУ 6-05-1679—74), масло ТП-22 (ТУ 38-1013-60—73), олигоэфир ОЖ-1 (ТУ 6-05-221-489—81). Оплавление обычно производят погружением на 15 с в нагретый до $230 \pm 10^\circ\text{C}$ теплоноситель. Наиболее эффективным является оплавление на волне теплоносителя ОЖ-1 в автоматической установке, аналогичной установке для пайки на волне припоя, в которой контакт платы с жидкостью длится не более 5 с при температуре жидкости 220—230°C. После оплавления покрытия жидкость ОЖ-1 смывается горячей водой. В случае использования масла ТП-22 отмывка его производится трихлорэтиленом.

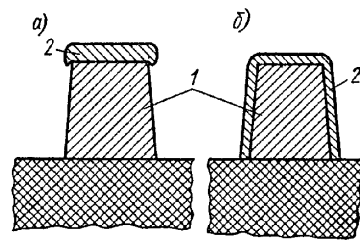


Рис. 10. Защитное покрытие олово—свинец до (а) и после (б) оплавления:

1 — печатный проводник; 2 — покрытие олово—свинец

Операция отмычки лучше всего производить в установках, где струйная промывка сочетается с механическим воздействием вращающихся щеток. В последней секции отмывочного агрегата устанавливаются валки, которые отжимают воду с поверхности плат.

Сушка плат может осуществляться с помощью ТЭНов или керамических нагретых панелей, которые испаряют влагу за счет инфракрасного излучения во время перемещения платы по конвейеру между нагретыми поверхностями.

Оплавлению в инфракрасных лучах предшествует флюсование в спиртоканифольном флюсе или в растворе состава (масс. доли, %): олеиновая кислота — 20; этиловый спирт — 35; продукт ОС-20—45. Вязкость флюса по ВЗ-4 равна 12—15 с.

Раствор приготавливают посредством смешивания олеиновой кислоты со спиртом и затем в нагретую до 45—55 °С смесь вводят при помешивании продукт ОС-20. Флюс наносят окуном и подсушивают на воздухе в течение 3—5 мин. Продукт ОС-20 по истечении нескольких дней употребления флюса выпадает в осадок, поэтому периодически флюс необходимо прогревать для растворения этого продукта.

В установках для оплавления в инфракрасном излучении скорость конвейера меняется для того, чтобы продолжительность облучения увеличивалась по мере увеличения толщины платы. Так, для плат толщиной 1 мм скорость конвейера 1,2—1,3 м/мин, а для плат толщиной 2 мм скорость конвейера 1,0—1,1 м/мин.

Для защиты плат от коробления применяют рамки из текстолита, в которые вставляются платы перед укладкой их на конвейер. После оплавления флюсы смываются: спирто-канифольный — в спирто-бензиновой смеси; олеиновый — в теплой воде (50—55 °С) в течение 5—10 мин. Качество отмывки водорастворимых флюсов и жидких теплоносителей можно значительно повысить, используя ультразвуковые установки.

Следует обратить внимание на то, что толщина оловянно-свинцового покрытия на платах должна быть минимальной (не более 15 мкм), в противном случае происходят большие наплывы металла в отверстиях, каплеобразование и другие дефекты.

VI. ТРАВЛЕНИЕ МЕДИ

20. Растворы на основе хлорного железа и персульфата

Общие сведения. Травление меди является одной из основных операций в производстве печатных плат. Травильные растворы, с помощью которых осуществляется эта операция, должны удовлетворять следующим требованиям. В состав раствора должны входить дешевые и доступные материалы; раствор должен допускать возможность его регенерации и утилизацию меди из отработанного травителя; боковое подтравливание проводников должно быть минимальным; травильные растворы не должны воздействовать на диэлектрическое основание печатной платы и на защитный рисунок.

Ниже рассмотрены основные характеристики ряда применяемых в производстве растворов и даны рекомендации по наиболее эффективным травителям [3, 8].

Операция травления обычно осуществляется в конвейерных установках, в которых на платы, перемещаемые по транспортеру, сверху и снизу направляются струи травильного раствора или промывочной воды. Струйный метод травления является наиболее эффективным, так как обеспечивает требуемую скорость процесса при незначительном боковом травлении.

Типовая травильная установка состоит из отдельных состыкованных между собой модулей, в которых выполняются следующие переходы: загрузка, травление, щелочная или кислая промывка, визуальное наблюдение, финишная промывка и сушка. К числу таких установок относятся серийно выпускаемые линии щелочного и кислого травления.

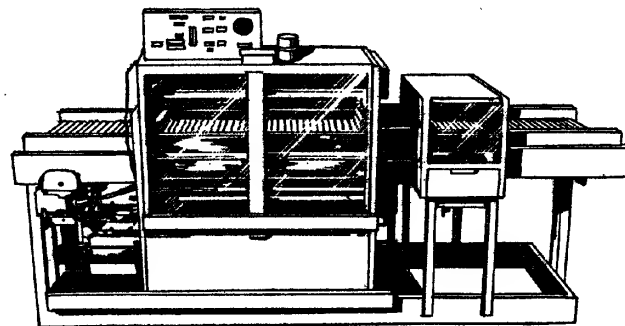
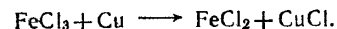
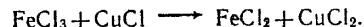


Рис. 11. Линия струйного травления печатных плат

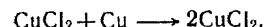
На рис. 11 представлена типовая установка травления. Растворы на основе хлорного железа. Водный раствор хлорного железа FeCl_3 является сильным окислителем и с большой скоростью растворяет медь, восстанавливаясь при этом до хлористого железа FeCl_2 по реакции



Образовавшаяся хлористая медь окисляется хлорным железом до хлорной меди:



В свою очередь, хлорная медь растворяет медь:

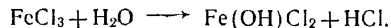


Таким образом, в растворе травления содержатся следующие продукты: FeCl_3 , FeCl_2 , CuCl_2 , CuCl . Для травления используется раствор FeCl_3 плотностью 1300 кг/м³, что соответствует концентрации 400 г/л; температура раствора — до 35 °С. Боковое травление — 40—66 мкм, емкость по меди — 75—105 г/л, максимальная скорость травления — 35 мкм/мин.

¹ Емкостью по меди называют предельно допустимое увеличение концентрации меди в растворе за счет вытравливания ее с плат.

Раствор обладает высокой скоростью травления и емкостью по меди, однако его применение в настоящее время ограничивается по следующим причинам.

При промывке плат после травления остатки травильного раствора легко гидролизуются с образованием труднорастворимых основных солей железа:



Фенольные смолы диэлектрика частично обладают свойством ионообменных смол и адсорбируют ионы Fe^{3+} , поэтому в производственных условиях на платах часто снижается сопротивление изоляции диэлектрика.

Отработанный раствор очень трудно поддается регенерации и практически невозможно его автоматическое корректирование в процессе травления.

Раствор невозможно использовать в позитивном методе изготовления печатных плат при наличии оловянно-свинцового покрытия, так как хлорное железо растворяет это покрытие.

Работа с раствором хлорного железа неизбежно влечет за собой загрязнение полов и стен яркоокрашенным травильным раствором.

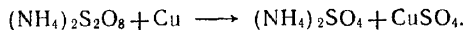
Для утилизации меди из отработанного раствора в него загружается перфорированная винипластовая корзинка, в которую засыпается обезжиренная стальная стружка. Раствор рекомендуется подогреть до температуры 40—50 °С. Вследствие реакции цементации медь в виде рыхлого осадка выделяется на частицах железа:



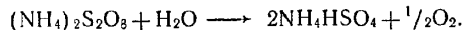
После осаждения меди на стружке, о чем судят по отсутствию меди на стальных образцах, периодически погружаемых в раствор, последний сливается и передается на нейтрализацию, а порошковая медь струей воды смывается в льяную мешок, где промывается водой и затем обезживается на рамном фильтр-прессе и высушивается [1].

Раствор, освобожденный от меди, нейтрализуется известковым молоком. Осадок гидроокиси железа обезживается на рамном фильтр-прессе и вывозится в специально отведенные для этой цели места.

Растворы на основе персульфатов. Персульфат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ относится к категории сильных окислителей и в кислой среде растворяет медь по реакции

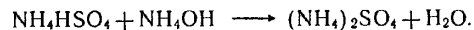


Побочной реакцией является гидролиз персульфата:



Раствор состоит из 200—250 г/л $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ и 5—7 г/л H_2SO_4 . Температура раствора — до 50 °С, боковое травление 50—80 мкм, емкость по меди — 35 г/л, максимальная скорость травления — 25 мкм/мин. Утилизация меди и более полное использование персульфата достигается посредством охлаждения отработанного раствора до температуры +5 °С, при этом выпадают кристаллы солей меди в виде $\text{CuSO}_4 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Осаждение меди должна предшествовать реакции перевода кислой соли NH_4HSO_4 (которая, как показано выше, образуется вследствие

гидролиза персульфатов) в среднюю соль $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ с помощью водного раствора аммиака:

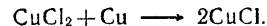


Затем следует дополнительное введение в реактор раствора CuSO_4 , чтобы обеспечить связывание сульфата аммония в вышеуказанную двойную соль.

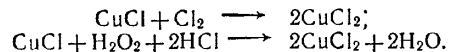
Растворы на основе персульфата аммония могут быть использованы как в негативном, так и в позитивном процессе, однако невозможность регенерации раствора, сложная система утилизации меди, неравномерный характер вытравливания, высокая стоимость и дефицитность персульфата аммония обуславливают ограниченное применение персульфатных растворов в производстве.

21. Хлорно-медный кислый и щелочной растворы

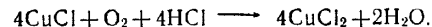
Хлорная медь окисляет и растворяет медь по реакции



Образующаяся хлористая медь CuCl нерастворима и может служить источником засорения форсунок в травильных установках. В присутствии ионов хлора в виде HCl , NH_4Cl , NaCl , KCl образуются хорошо растворимые комплексы, диссоциирующие в растворе с образованием иона CuCl^- . Окисление образующихся соединений одновалентной меди можно осуществить различными способами, например воздействием газообразного хлора или перекисью водорода:



Частично хлористую медь окисляет кислород воздуха в кислой среде:



Таким образом, отработанный кислый раствор хлорной меди можно легко регенерировать в исходное состояние. Раствор содержит 100—150 г/л CuCl , 145—150 г/л NH_4Cl . Плотность раствора 1070—1120 кг/м³, рабочая температура 45—50 °С, pH 1—2.

Основные характеристики: боковое подтравливание 40—60 мкм; емкость по меди 10—20 г/л; максимальная скорость травления 35 мкм/мин. Регенерация раствора возможна как в ручном, так и в автоматическом режиме. При ручном исполнении сливается примерно 1/7 часть отработанного раствора, а оставшуюся часть подкислить HCl до pH 1—2 (20—25 мл/л HCl). Разбавленную в отношении 1:6 перекись водорода (пергидроль) ввести в регенерируемый раствор в количестве 110—115 г/л. Раствор перемешать сжатым воздухом и через 20—30 мин можно приступить к работе. Слитый раствор поддежит обработке для утилизации меди по нижеприведенному способу.

При автоматическом режиме все параметры раствора контролируются с помощью датчиков, имеющихся в автоматической линии. Датчики информируют о температуре раствора t , кислотности pH, плотности γ , редоксе-потенциале ϕ , уровне раствора h . Момент регенерации определяется по накоплению хлорной меди более

10 г/л сверх установленного содержания по норме, при этом датчики указывают значения $\varphi = 390 \div 395$ мВ, $\gamma = 1120$ кг/м³, pH 2, и тогда по сигналу датчиков дозирующие устройства вводят в раствор компоненты: HCl — до pH 0,4; H₂O₂ до $\varphi = 600$ мВ и NH₄Cl до уровня, который снизился вследствие откачки 1/6 — 1/7 части раствора.

Способ электрохимической регенерации отработанного медно-хлоридного раствора травления является весьма перспективным, так как помимо регенерации раствора он обеспечивает возможность утилизации меди в виде катодного осадка.

Способ электрохимической регенерации заключается в пропускании постоянного тока через раствор с использованием титанового катода и графитового анода.

На электродах возможны следующие реакции и характерные для них электродные стандартные потенциалы: на катоде $\text{Cu}^{2+} + e \rightarrow \text{Cu}^+$ ($\varphi = +0,153$ В), $\text{Cu}^+ + e \rightarrow \text{Cu}$ ($\varphi = +0,521$ В), $\text{Cu}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Cu}$ ($\varphi = +0,34$ В); на аноде $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + e$ ($\varphi = -0,153$ В), $2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2e$ ($\varphi = -1,35$ В).

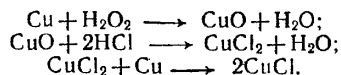
При низких и одинаковых плотностях тока регенерация не происходит, так как на катоде медь восстанавливается до одновалентного состояния, а на аноде одновалентная медь окисляется до двухвалентной. При повышении катодной плотности тока до 15 А/дм² и анодной плотности тока до 2,5—4 А/дм² на катоде выделяется металлическая медь (реакция), а на аноде одновалентная медь окисляется. В этих условиях происходит также выделение небольших количеств хлора.

С целью предотвращения выделения хлора анодное пространство отделяется пористой диафрагмой с заполнением анолита раствором едкого натра.

В этом случае после извлечения из отработанного раствора избытка меди его обрабатывают перекисью водорода для окисления ионов одновалентной меди до двухвалентной. Современные модели травильных установок снабжаются электрохимическим устройством для утилизации меди и регенерации раствора.

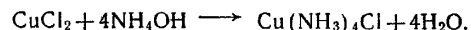
Раствор хлорной меди, несмотря на малую емкость по меди, является наиболее перспективным при выполнении операции травления в негативном процессе и особенно при изготовлении односторонних плат из гетинакса. Перспективность применения раствора хлорной меди обусловлена в первую очередь возможностью его автоматической регенерации и утилизации меди. Кроме того, растворы хлорной меди хорошо отмываются с плат, не оставляя никаких следов солей меди.

Аналогичным является так называемый перекисный раствор, применяемый некоторыми предприятиями. Раствор готовится из перекиси водорода (30 %-ной) и соляной кислоты, взятых в отношении 1 : 3. В процессе травления меди происходят следующие реакции:

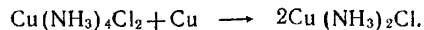


По мере накопления в растворе солей меди этот раствор практически ничем не отличается от приведенного выше медно-хлоридного. Большой интерес представляют перекисные растворы

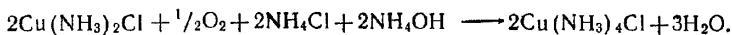
на основе серной кислоты. В сернокислой среде в процессе травления получается химически чистая соль CuSO₄, которую можно применять для приготовления растворов химического меднения и этим осуществить параллельное протекание субтрактивных и аддитивных процессов, регулируя их объем количеством осаждаемой и вытравливаемой меди, создав безотходную по меди технологию производства печатных плат. Растворы сернокислотного типа, кроме того, можно применять при травлении плат с металлорезистом в виде сплава олово—свинец (ПОС-60). Хлорно-медный щелочной раствор наиболее распространен в производстве печатных плат. В аммиачной среде соли меди образуют комплекс



Аммиачная комплексная соль двухвалентной меди является окислителем и растворяет медь по реакции



Отработанный раствор, содержащий одновалентную медь, легко регенерируется посредством окисления кислородом воздуха:



Раствор состоит из 65—110 г/л CuCl₂, 100—150 г/л NH₄Cl, 20—30 г/л (NH₄)₂CO₃, 400—500 мл/л NH₄OH, pH 8,5—10,5. Температура раствора 45—50 °С, плотность $\gamma = 1080 \div 1100$ кг/м³, боковое подтравливание 20—30 мкм. Максимальная скорость травления 20—25 мкм/мин, емкость по меди 60—80 г/л.

Регенерацию раствора можно осуществить в ручном исполнении или автоматически. При ручном исполнении сливается 1/2 раствора, в оставшуюся часть вводится 100—115 г/л NH₄Cl и разбавленный NH₄OH до pH 9,5—9,8. Слитый раствор подлежит обработке с целью утилизации меди.

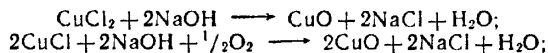
С помощью датчиков температуры, плотности и кислотности раствора на дозирующие устройства подается сигнал, по которому раствор автоматически корректируется. Окисление Cu⁺ в Cu²⁺ происходит непрерывно вследствие воздействия кислорода воздуха при струйном методе обработки. По достижении $\gamma = 1300$ кг/м³ подается сигнал на насос, который откачивает половину раствора и подкачивает порцию свежего раствора, состоящего из смеси NH₄Cl и (NH₄)₂CO₃. При снижении pH до 8,5 по сигналу датчика pH открывается вентиль баллона с газообразным аммиаком и происходит насыщение раствора аммиаком, которое прекращается по достижении pH 9,5—9,8.

Корректирование раствора газообразным аммиаком приводит к его повышению расхода вследствие большой летучести аммиака. На ряде предприятий освоен метод корректирования травителя раствором следующего состава: хлористый аммоний — 150 г/л; аммиак (25 %-ный) — 400—500 мл/л.

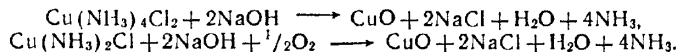
Раствор вводится по сигналу датчика pH. Автоматически цикл регенерации предусмотрен в линии щелочного травления, представленной на рис. 11.

Утилизация меди из травильных растворов на основе хлорида осуществляется осаждением меди в виде окиси меди действием при нагреве и барботировании смеси воздухом. При этом происходят следующие реакции:

для кислых растворов



для щелочных растворов

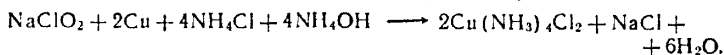


Количество NaOH, необходимое для осаждения меди, берется по стехиометрическим соотношениям с добавлением 50 %, чтобы создать его избыток и обеспечить полноту осаждения. Осадок окиси меди после декантации 2—3 раза промывается водой, сушится и упаковывается в тару (ящики, полиэтиленовые мешки и т. п.). Карабашский медеплавильный комбинат (Челябинская обл.) принимает окись меди, полученную вышеуказанным способом, на переработку.

Недостатком медно-аммиачных травителей является загрязнение атмосферы аммиаком и сточных вод аммонийными солями, которые, попадая в систему очистных сооружений, могут образовать комплексные соединения тяжелых металлов (никель, медь и др.) и утечку их из нейтрализаторов в очищенные стоки.

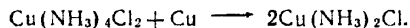
К числу других щелочных растворов относят хлоритные и медно-сульфатные.

Хлорит натрия NaCl_2 относится к категории сильных окислителей и растворяет медь в аммиачной среде по реакции



Травильный раствор на основе хлорита натрия используется на некоторых предприятиях для вытравливания меди в позитивном процессе при наличии защитного покрытия из сплава олово—свинец. Травильный раствор содержит 30—35 г/л хлорита натрия, 70—90 г/л хлористого аммония, 190—200 мл/л 25 %-ного водного аммиака.

Раствор обеспечивает хорошее качество травления и по своим возможностям аналогичен медно-аммиачному, так как растворение меди происходит не только по вышеприведенной реакции окисления меди хлоритом, но и за счет образовавшейся аммиачно-медной соли $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4\text{Cl}_2$:



Основными недостатками хлоритных растворов являются взрывоопасность хлорита натрия и невозможность регенерации хлорита натрия из продуктов реакции, образовавшихся в результате травления меди. Попытки промышленного использования для вытравливания меди таких окислителей, как, например, бромат калия KBrO_3 , не дали положительных результатов.

Аммиачный медно-сульфатный раствор является аналогом аммиачно-медного хлоридного раствора и основным компонентом раствора служит комплексная соль $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4\text{SO}_4$. Процесс травления протекает по реакции



Травильный раствор имеет состав (г/л): сернокислая медь ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) — 170—190, сульфат аммония — 150—170, водный

аммиак (25 %-ный) — 400—500 мл/л. Температура раствора 45—50 °С. Травление меди в этом растворе протекает более медленно, чем в аналогичном хлоридном, поэтому он рекомендуется для использования в полуаддитивной технологии при травлении тонких (5—7 мкм) слоев меди.

Хромовокислый раствор относится к категории очень сильных окислителей и может быть использован для вытравливания меди при различных резистивных покрытиях, однако широкого применения хромовокислые растворы не получили вследствие значительных усилий, связанных с обезвреживанием сточных вод и больших затрат на обезвреживание залповых сбросов при смене растворов. Хромовые соединения, кроме того, являются дорогими и дефицитными. По этим причинам хромовокислые растворы не рекомендуются для промышленного использования.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1. Материалы для изготовления одно- и двусторонних печатных плат

Наименование	Марка	ГОСТ, ТУ	Толщина материала
Гетинакс фольгированный	ГФ-1-35 ГФ-1-50 ГФ-2-35 ГФ-2-50 ГФ-1-35Г ГФ-1-50Г ГФ-2-35Г ГФ-2-50Г	ГОСТ 10316—78	1,0—3,0
Фольгированный гетинакс общего назначения	ГОФ-1-35Г ГОФ-2-35Г ГОФВ-1-35Г ГОФВ-2-35Г	ТУ 16-503.195—80	1,0—3,0
Фольгированный стеклотекстолит	СФ-1-35 СФ-2-35 СФ-1-50 СФ-2-50 СФ-1-35Г СФ-2-35Г СФ-1-50Г СФ-2-50Г СФ-1Н-35 СФ-2Н-35 СФ-1Н-50 СФ-2Н-50 СФ-1Н-35Г СФ-2Н-35Г СФ-1Н-50Г СФ-2Н-50Г	ГОСТ 10316—78	0,5—3,0
Стеклотекстолит фольгированный повышенной нагревостойкости	СФПН-1-50 СФПН-2-50	ТУ 6-05-1776—76	0,5—3,0
Диэлектрик фольгированный гальваностойкий	ФДГ-1 ФДГ-2	ТУ 16-503.141—74	0,5—3,0

Приложение 2. Материалы для изготовления печатных плат повышенной плотности монтажа

Наименование	Марка	ТУ	Толщина материала, мм
Материалы для полупроводниковой технологии	СТЭФ-1-2ЛК	ТУ АУЭО 037.000	1,0; 2,0
Стеклотекстолит листовой с адгезивным слоем	СТЭК	ТУ 16-503-201—80	1,0; 1,5; 2,0
Диэлектрик фольгированный для уплотненного монтажа	СЛОФАДИТ	ТУ 19-136—79	0,5; 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0
Стеклотекстолит теплоустойчивый с алюминиевым протектором	СТПА-5-1; СТПА-5-2	ТУ 503.200—80	0,1; 0,12; 0,13; 0,16; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,5; 0,8; 1,0; 1,5; 2,0

Приложение 3. Материалы для изготовления многослойных печатных плат

Наименование	Марка	ТУ	Толщина материала
Стеклотекстолит фольгированный травящийся	ФТС-1-35АО ФТС-2-35АО ФТС-1-35А ФТС-2-35А	ТУ 16-503.154—76	0,1; 0,19; 0,14; 0,23; 0,1; 0,12 0,14; 0,23;
	ФТС-1-35Б ФТС-2-35Б		0,1; 0,12; 0,14; 0,23; 0,25
	ФТС-1-20АО ФТС-2-20АО ФТС-1-20А ФТС-2-20А ФТС-1-20Б ФТС-2-20Б		0,08; 0,15; 0,16; 0,27; 0,5
Стеклотекстолит теплоустойчивый фольгированный	СТФ-1	ТУ 16-503.161—77	0,1; 0,12; 0,13; 0,15; 0,2; 0,25; 0,35; 0,5; 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5
	СТФ-2		0,25; 0,35; 0,5; 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0

Наименование	Марка	ТУ	Толщина материала
Диэлектрики фольгированные серии «Д»	ДФС-1; ДФС-2	ТУ 16-503.202—80	0,06; 0,08; 0,01; 0,13; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3; 0,4; 0,5
Стеклотекстолит фольгированный гальваностойкий и теплостойкий	СФ-200-1; СФ-200-2; СФГ-200-1; СФГ-200-2	ТУ 16-503.091—71	0,8; 1,0; 1,5; 2,0
Диэлектрик фольгированный гальваностойкий и теплостойкий	СФГ-230-1-35 СФГ-230-2-35	ТУ 16-503.120—78	0,13; 0,2; 0,25; 0,5; 0,8; 1,0
	СФГ-230-1-150; СФГ-230-2-50		0,25; 0,5; 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5
Стеклотекстолит общего назначения	СОФ-1	ТУ ОЯЩ 503.041—78	0,1; 0,2; 0,6; 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0
	СОФ-2		0,2; 0,25; 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5
Стеклотекстолит общего назначения негорючий	СОНФ-1	ТУ 16-503.204—80	0,13; 0,15; 0,2; 0,6; 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0
	СОНФ-2		0,35; 0,5; 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0

Наименование	Марка	ТУ	Толщина материала, мм
Стеклотекстолит фольгированный	Ш-1 Ш-2	ТУ 16-503.169—78	0,065; 0,085
	ШУ-1 ШУ-2		0,065; 0,085
Диэлектрик фольгированный	ФДМ-1А; ФДМ-2А; ФДМ-1Б; ФДМ-2Б	ТУ 16-503.084—77	0,2; 0,3; 0,25; 0,35; 0,2; 0,3; 0,25; 0,35
	ФДМЭ-1А; ФДМЭ-2А; ФДМЭ-1Б; ФДМЭ-2Б		0,1; 0,13; 0,15 0,13; 0,2; 0,1; 0,13; 0,6; 0,13; 0,2
Пленки фторопластовые армированные и неармированные фольгированные	Ф-ЧМБСФ-1; Ф-ЧМБСФ-2; Ф-ЗМСФ-1	ТУ 6-05-041-649—77	0,15; 0,2
Лавсан фольгированный	ЛФ-1	ТУ 16-503.196—80	0,115; 0,130; 0,165; 0,180
Полиимид фольгированный	ПФ-1	ТУ 16-503.208—81	0,1
Диэлектрик фольгированный полиимидный пленочный	ДФПП-1	ТУ ОЯЩ 503.042—78	0,11

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов Е. А., Шевченко Е. Л., Калачик Т. С. Регенерации отработанных травильных растворов в производстве печатных плат. М.: ЦНИИЭлектроника, 1981. 104 с.
2. Груев И. Д., Матвеев Н. И., Сергеева Н. Г. Гальваническое золочение, серебрение и палладирование в производстве РЭА. М.: Радио и связь, 1981. 140 с.
3. Инженерная гальванотехника/Е. А. Баранов, М. А. Беленький, М. И. Гарбер и др.; Под ред. А. М. Гинберга. М.: Машиностроение, 1977. с. 307—336.
4. Медведев А. М. Контроль и испытания плат печатного монтажа. М.: Энергия, 1975. 151 с.
5. Многослойный печатный монтаж в приборостроении, автоматике и вычислительной технике/И. В. Борисов, А. Т. Белевцев, Л. Н. Московкин и др.; Под ред. А. Т. Белевцева. М.: Машиностроение, 1978. 263 с.
6. Пурин Б. А., Озола Э. А., Витиня И. А. Нанесение гальванических покрытий меди, олова и сплава олово—свинец на печатные платы. Рига: ЛатНИИТИ. 1979. 45 с.
7. Федулова А. А., Котов Е. П., Явич Э. Р. Химические процессы в технологии изготовления печатных плат. М.: Радио и связь, 1981. 133 с.
8. Ханке Х. И., Фабиан Х. Технология производства радиоэлектронной аппаратуры. М.: Энергия, 1980. 464 с.
9. Ямпольский А. М., Ильин В. А. Краткий справочник гальванотехника. Л.: Машиностроение, 1981. 269 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
I. Технологические процессы производства печатных плат	4
1. Назначение и способы изготовления печатных плат	—
2. Химический способ изготовления плат	6
3. Электрохимический способ получения печатных плат	8
4. Комбинированный способ изготовления плат	12
5. Аддитивный способ изготовления плат	19
II. Механическая обработка в процессах изготовления плат	21
6. Получение заготовок	—
7. Сверление отверстий, подлежащих металлизации	24
8. Штамповочные операции и обработка по контуру	29
III. Химическая металлизация	31
9. Теоретические основы процесса химического меднения	—
10. Активирование поверхности	32
11. Растворы химического меднения	35
IV. Получение защитного рельефа	39
12. Способы создания защитного рельефа	—
13. Жидкие фоторезисты	—
14. Сухие пленочные фоторезисты	42
15. Сеткография	45
V. Гальванические процессы	48
16. Меднение	—
17. Защитное покрытие сплавом олово—свинец (ПОС-60)	56
18. Покрытия разъемов печатных плат	60
19. Осветление и оплавление покрытия олово—свинец	62
VI. Травление меди	64
20. Растворы на основе хлорного железа и персульфата	—
21. Хлорно-медный кислый и щелочной растворы	67
Приложения	72
Список литературы	76